

Jussi Mäkelä

## **Sillan pintarakennuseremontit**

Opinnäytetyö

Kevät 2020

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Jussi Mäkelä

Työn nimi: Sillan pintarakenneremontit

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2020

Sivumäärä: 140

Liitteiden lukumäärä: 0

Opinnäytetyössä käsitellään betonisten maantiesiltojen pintarakenneremontteja, jotka tehdään ajokaista kerrallaan. Opinnäytetyössä käydään läpi työvaiheet, työmenetelmät, aikataulun kannalta kriittiset vaiheet, laadunvarmistus ja työturvallisuus. Tavoitteena oli tuottaa työohje tällaisille sillankorjausprojekteille. Siltojen pintarakenteiden korjaukset tehdään liikenteen ollessa koko ajan sillan toisella kaistalla, jolloin työturvallisuus korostuu entisestään.

Opinnäytetyössä käydään läpi hieman yleistä asiaa Suomen maantiesiltojen kunnosta ja liikenneverkon rahoituksesta. Pohditaan mahdollisesti erilaisia tapoja tehdä eri työvaiheet ja miten varmistetaan kriittisten vaiheiden onnistuminen ja aikataulussa pysyminen.

Sillan pintarakenneremonttiin kuuluu silta- ja pengerkaiteiden, reunapalkkien, päällysteiden, vesieristeiden sekä kuivatuslaitteiden uusiminen ja kansilaatan rapautumien sekä vaurioiden korjaus

Pintarakenneremonttiin ryhdytään yleensä silloin, kun sillan vesieristykset alkavat vuotamaan tai reunapalkkien rapautuminen on edennyt siihen pisteeseen, että teräksiset tulevat esiin. Yleensä silta on silloin vähintään 30 vuoden ikäinen, mutta ongelmat voivat ilmetä paljon aiemminkin johtuen esim. erittäin vaativista olosuhteista, rakennusvirheistä tai siltatyypistä. Toisaalta on myös jopa 60-70 vuotta vanhoja siltoja, joita ei ole vielä peruskorjattu. Korjaustoimet käynnistyvät erikoissiltatarkastuksesta, jonka pohjalta tehdään korjaussuunnitelma ja urakkaohjelma.

Siltojen suunniteltu käyttöikätaavoite on nykyään 100 vuotta, mutta 1980-luvulle asti käytettiin yleisesti 50 vuoden tavoitetta. Vielä 1980-1990-luvuilla suunnittelussa käytettiin 70 vuoden käyttöikätaavoitetta.

Avainsanat: eristysalusta, alkaliskiviainesreaktio (AKR), epoksitiivistys, muotoiluvalu, sillankorjaus, jälkihoito

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Jussi Mäkelä

Title of thesis: Surface structure renovation of bridges

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2020

Number of pages: 140   Number of appendices: 0

---

The thesis dealt with the renovation of the surface structure of concrete road bridges, made one lane at a time. The thesis covered the work phases and methods, critical steps for the schedule, quality assurance and safety at work. The purpose of the thesis was to produce work instructions for this kind of renovation project. The renovation was done at the same time as the traffic was running on the opposite lane of the bridge, and that was why the work safety became more significant.

The thesis covered general issues about the condition of Finnish road bridges and the financing of the transport network. The thesis studied different ways to do different work stages and how to ensure the success of the critical stages and staying on schedule.

The renovation of a bridge's surface structure includes replacing the bridge and embankment railings, edge beams, asphalt surface, waterproofing, draining devices and repairing damaged spots of a deck.

The renovation of a bridge's surface structure starts generally after the waterproofing starts to leak or the reinforcement bars in edge beams are visible. Usually the bridge is then at least 30 years old, but problems can occur much earlier due to very demanding conditions, construction defects or the type of the bridge, for example. Then again there are 60 to 70-year-old bridges which have not been renovated yet. Repair work starts with a special bridge inspection based on which the repair planning and contract program are made.

Today, the planned service life of bridges is 100 years, but until the 1980's, the 50-year goal was commonly used. In the 1980's and 1990's, a 70-year planned service life goal was used.

**Keywords:** insulation surface, alkali-aggregate reaction (AAR), epoxy sealing, form-matting cast, bridge repair, curing

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo .....	8
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	13
1 JOHDANTO .....	14
2 SUOMEN LIIKENNEVERKKO .....	15
2.1 Tieverkko .....	15
2.2 Rataverkko .....	15
2.3 Vesiväylät.....	16
2.4 Sillat .....	16
2.4.1 Siltojen kunto ja käyttöikä.....	17
2.4.2 Ajoneuvoyhdistelmien maksimimassan kasvatuksen vaikutukset...	18
2.4.3 Siltojen vuosittaiset peruskorjausmäärät vuosina 2013-2018 .....	20
3 LIIKENNEVERKON RAHOITUS .....	23
3.1 Rahoitus Suomessa .....	23
3.2 Pohdintaa Ruotsin ja Suomen rahoitusmallien eroista .....	23
3.3 Liikenneverkon rahoitus hallitusohjelmassa 2019-2023 .....	24
3.4 Vallitsevan Koronavirus COVID-19 -kriisin vaikutukset .....	26
4 YLEISTIETO SILLOISTA .....	27
4.1 Siltatyypit.....	27
4.1.1 Betonisillat.....	28
4.1.2 Terässillat.....	32
4.1.3 Puusillat .....	34
4.1.4 Kivisillat .....	35
4.2 Siltojen tärkeitä mittoja ja käsitteitä .....	36
4.3 Sillan päärakenneosat.....	38
4.4 Siltoihin kohdistuvat rasitukset .....	39
4.5 Siltojen betonirakenteiden yleisimmät vauriot .....	41
4.5.1 Betonin pakkasrapautuminen.....	42



4.5.2	Alkalikiviainesreaktio AKR.....	43
4.5.3	Raudoitteiden vauriot .....	43
4.6	Siltojen rakenneosien yleisimmät vauriot .....	44
4.6.1	Vedeneristykset .....	44
4.6.2	Päällyste .....	45
4.6.3	Kaiteet.....	45
4.6.4	Laakerit .....	45
4.6.5	Liikuntasaumat.....	46
4.6.6	Kuivatuslaitteet.....	46
5	SILLAN PINTARAKENTEIDEN PURKU .....	47
5.1	Ennen työmaan aloitusta suoritettavat tehtävät .....	47
5.2	Työmaan aloitus ja liikennejärjestelyt.....	49
5.3	Toimet ennen purkutyön aloittamista .....	49
5.4	Asfaltin purku .....	50
5.5	Suojabetonin purku .....	51
5.6	Sillankaiteen ja reunapalkin purku.....	53
5.6.1	Kaiteen purku.....	53
5.6.2	Reunapalkin purku .....	53
5.6.3	Reunapalkin purku mekaanisesti piikkaamalla.....	56
5.6.4	Vesipiikkausmenetelmänä .....	58
5.7	Kannen pinnan kunnon tutkiminen ja korjauslaajuuden määrittäminen.....	63
5.7.1	Eristysalustan kunnostamiseen johtavia syitä .....	64
5.7.2	Kannen pinnan käsittely ennen vesieristystä tai muotoiluvalua.....	65
5.8	Tippaputket ja pintavesikaivot .....	71
5.9	Siipimuurien sivustojen ja päätyjen taustojen avaus .....	71
6	PINTARAKENTEIDEN UUSIMINEN .....	72
6.1	Betonin lujuusongelmat ja niiden vaikutukset pintarakenneremonttiin .....	72
6.2	Reunapalkin korjaus.....	73
6.2.1	Reunapalkin telineen ja vesipiikkaussuojauksen rakentaminen.....	73
6.2.2	Reunapalkin tartuntaterästen ankkurointi.....	78
6.2.3	Reunapalkin muottityö .....	82
6.2.4	Reunapalkin raudoitus .....	83
6.2.5	Reunapalkin muotin tuplaus ja pulttikehien asennus .....	85

6.2.6	Reunapalkin betonointi .....	87
6.2.7	Reunapalkin impregnointi.....	91
6.2.8	Kaiteen asennus sillalle ja reunapalkin telineen purun aikataulutus	92
6.3	Kannen muotoiluvalu ja vedeneristysalustan korjaus.....	94
6.3.1	Muotoiluvalun ongelmat .....	95
6.3.2	Muotoiluvalun laatuvaatimukset .....	96
6.3.3	Muotoiluvalun toteutus .....	97
6.3.4	Muotoiluvalun jälkihoito .....	100
6.4	Reunapalkin muotin ja telineen purku .....	102
6.5	Sääsuoja .....	103
6.5.1	Sääsuojassa muotoiluvalun kuivumisen aikana tehtävät työt.....	105
6.5.2	Kaidetolppien juurivalut .....	106
6.6	Sillan kannen vesieristys kermieristyksenä .....	107
6.6.1	Suojabetonin käyttö .....	107
6.6.2	Eristysalustan laatuvaatimukset.....	108
6.6.3	Eristystyönaikaiset olosuhdevaatimukset.....	110
6.6.4	Alustan käsittely kumibitumiliuoksella tai tiivistys epoksilla .....	110
6.6.5	Epoksitiivistys.....	111
6.6.6	Kermieristys .....	112
6.7	Sääsuojan purku .....	115
6.8	Päätyjen täyttö ja päällystyksen valmistelu .....	116
6.8.1	Päällystyksen valmistelu .....	117
6.9	Sillan asfaltointityö ja ajoratamerkinnot .....	118
6.9.1	Tulopenkereiden asfaltin jyrinnät.....	119
6.9.2	Suoja-asfalttikerros .....	120
6.9.3	Toimet asfaltin suojakerroksen levityksen jälkeen .....	123
6.9.4	Sidekerros.....	123
6.9.5	Kulutuskerros .....	123
6.9.6	Asfaltoinnin laatuvaatimukset.....	124
6.10	Kannen saumat.....	126
6.10.1	Reunapalkin liikuntasärmä .....	127
6.10.2	Kannen liikuntasärmä.....	130
6.11	Viimeistelyt ja kaistanvaihto tai työmaan purku .....	133
7	YHTEENVETO.....	134

LÄHTEET .....	135
LIITTEET .....	140

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Siltatyypit eriteltynä rakenteellisen toiminnan perusteella .....	28
Kuva 2. Teräsbetoninen laattasilta.....	29
Kuva 3. Teräsbetoninen holvisilta .....	30
Kuva 4. Teräsbetoninen laattakehäsilta .....	30
Kuva 5. Teräsbetoninen palkkisilta .....	31
Kuva 6. Teräsbetoninen kotelopalkkisilta.....	32
Kuva 7. Teräksinen palkkisilta.....	33
Kuva 8. Teräksinen ristikkosilta.....	33
Kuva 9. Teräksinen putkisilta .....	34
Kuva 10. Puinen liimattu palkkisilta.....	35
Kuva 11. Kiviholvisilta Aunessilta, Tampere, H-389.....	36
Kuva 12. Sillan aukko- ja leveysmitat.....	37
Kuva 13. Sillan rakenneosat .....	39
Kuva 14. Betoninen sillan maatuki .....	39
Kuva 15. Asfaltin purku kaivinkoneella.....	51
Kuva 16. Suojabetonin purku kaivinkoneella vaatii riittävän ison koneen ja terävän huulilevyn.....	52
Kuva 17. Reunapalkki ja piikkausraja kannen osalla. ....	55
Kuva 18. Reunapalkin piikkausraja siipimuurin osalla.....	56
Kuva 19. Reunapalkin purku mekaanisesti piikkaamalla. ....	57

Kuva 20. Mekaanisesti piikattu reuna ennen viimeistelyä. ....	57
Kuva 21. Vesipiikkaamalla purettu reunapalkki.....	60
Kuva 22. Vesipiikattu reunapalkki ja purkujätettä täynnä oleva teline.....	61
Kuva 23. Vesipiikkaussuojausta.....	62
Kuva 24. Epätasainen ja koloinen kansi noin 20 mm mekaanisen jyrynnän jälkeen. Betoni on lujaa, mutta erittäin epätasaisen kannen kolot ovat täynnä bitumia ja kallistukset puutteelliset. Kanteen tehtiin muotoiluvalu, jota ennen poistettiin bitumijäät hiekkapuhaltamalla. ....	66
Kuva 25. Kannen hiekkapuhallus ja bitumijämien poisto. ....	67
Kuva 26. Kannen bitumia täynnä olleet kolot hiekkapuhalluksen jälkeen. ....	68
Kuva 27. Erittäin huonokuntoinen alkalikiviainesreaktion rapauttama sillan kansi vesipiikkauksen jälkeen, kun pinnasta on lähtenyt 30-100 mm kerros rapautunutta betonia. ....	69
Kuva 28. Kannen pinnasta poistettiin eriste jäät ja muu irtoaines korkeapainepesulla, suurin osa työstä tehtiin tasovesipesurilla, mutta viimeistelyt käsipistoolilla noin 2000 Bar paineella. Päälle tuli epoksitiivistys ja kermieristys. .	70
Kuva 29. Reunapalkin teline alhaaltapäin. ....	74
Kuva 30. Reunapalkin teline ja vesipiikkaussuoja teräslevyt osittain asennettuna. ....	75
Kuva 31. Reunapalkin työteline.....	76
Kuva 32. Kevyenliikenteen suojaamiseksi tehty katos. ....	77
Kuva 33. Reunapalkin tartuntateräket ankkuroituna kannen reunaulokkeeseen.	81
Kuva 34. Reunapalkin muottisuunnitelma eräällä sillalla. ....	83
Kuva 35. Raudoitettu reunapalkki odottaa tuplausta ja kaidetolppien pulttikehien asennusta. ....	85

Kuva 36. Kaidetolpan pulttikehä asennettuna ennen reunapalkin betonointia. ....	86
Kuva 37. Raudoitettu ja tuplattu reunapalkki valmiina betonoitavaksi. ....	87
Kuva 38. Betonoitu reunapalkki peiteltynä tiiviisti muovilla. ....	91
Kuva 39. Sillankaide asennettuna ennen reunapalkin tuennan ja telineen purkua. .....	94
Kuva 40. Muotoiluvaluun muodostuvia rasituksia ja vaurioita .....	96
Kuva 41. Vesipiikatun sillankannen muotoiluvalu käynnissä valun paksuus 40-100 mm ja betonissa lisäksi makrokuituja 2,7 kg/m <sup>3</sup> vähentämässä varhaisvaiheen halkeilua.....	99
Kuva 42. Varhaisjälkihoitoaineen levitys ennen muotoiluvalun hierontaa. ....	100
Kuva 43. Routamatoilla peitelty muotoiluvalu, joka lisäksi kasteltiin päivittäin erittäin hankalien olosuhteiden vuoksi. ....	101
Kuva 44. Valmis jälkihoidettu muotoiluvalu. ....	102
Kuva 45. Puurunkoinen sääsuoja. ....	104
Kuva 46. Vuokrattava alumiinirunkoinen sääsuoja.....	105
Kuva 47. Kaidetolppien juurikakut valettuna. ....	106
Kuva 48. Kannen valmis epoksitiivistys. ....	112
Kuva 49. Kumibitumikermieristystyö käynnissä kannen alimmaisesta kohdasta aloittaen. ....	115
Kuva 50. Kansi valmiina asfaltin levitykseen.....	117
Kuva 51. C-profiilin putkisalaoja.....	118
Kuva 52. Vanhan asfaltin jyrsintä suoraan auton lavalle edellyttää ajamista sillan kannelle. ....	119
Kuva 53. Tulopenkereen asfaltti jyrsittynä ennen sillan asfaltointia. ....	120

Kuva 54. Suoja-asfaltti AA 5/50 kerroksen levitys käynnissä.....	121
Kuva 55. Suoja-asfaltti levitettynä ja tippuputki linjalle tehty varaus laudasta reunasalaojaa varten. ....	122
Kuva 56. Asfaltin kulutuskerroksen levitys penkereelle ja sillalle. ....	124
Kuva 57. Vanhan ja uuden asfaltin sauman tekoa. ....	125
Kuva 58. Valmis ja hyvin onnistunut vanhan ja uuden asfaltin sauma. ....	125
Kuva 59. Kumibitumisauma sillalla kevyenliikenteenväylän reunakiven molemmilla puolilla.....	127
Kuva 60. Reunapalkin massasauman oikea muoto .....	128
Kuva 61. Reunapalkin massasauman poikkileikkaus.....	129
Kuva 62. Reunapalkin elastisella massalla tehty 30 mm liikuntasäuma.....	130
Kuva 63. Kannen liikuntasäuma.....	131
Kuva 64. Kannen saumat eräällä sillalla. ....	132
Kuva 65. Kannen massaliikuntasäuma eräällä sillalla.....	132
Kuvio 1. Varsinaisten siltojen ikäjakauma (kpl) .....	20
Kuvio 2. Valtion väylien korjausvelka eri rahoitustasoilla .....	26
Taulukko 1. Sillat maakunnittain toiminallisen luokan mukaan .....	17
Taulukko 2. Kokemukseen perustuvat tavoitekäyttöiät sillan rakenneosille. ....	19
Taulukko 3. Siltojen lukumäärät kuntoluokkien mukaisesti ELY-keskuksittain.....	21

Taulukko 4. Siltojen kuntoluokitus.....	22
Taulukko 5. Numeroitujen kohtien vaatimat toimet ovat yleensä seuraavat:.....	65
Taulukko 6. HILTI HIT-RE500 ankkurimassan työskentely- ja kuormitettavuus ajat .....	81
Taulukko 7. Eristysalustan suurin sallittu kosteus ennen eristystöiden aloitusta.	109
Taulukko 8. Kermieristyksen tartuntalujuusvaatimus siltakannella (yli 100 m <sup>2</sup> ). (menetelmä SFS-EN 13596, väliarvot interpoloidaan). ....	114
Taulukko 9. Elastisen massasauman sallitut liikuntapituudet.....	127



## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Epoksitiivistys</b>	Nykyisin sillaneristyksessä käytettävä eristysalustan vesi-höyryntiivistysmenetelmä, joka tehdään ennen päälle asennettavan kumibitumikerman asennusta.
<b>Eristysalusta</b>	Eristettävä alusta, jonka laadulle, muodolle ja puhtaudelle on tietyt vaatimukset.
<b>Jälkihoito</b>	Betonivalulle suoritettava toimi, jolla pyritään estämään vaurioiden synty ennen kuin betoni on saavuttanut riittävän lujuuden vastustaakseen niiden syntyä. Käytännön toimia ovat kastelu, peittely, lämmitys, lämpötilaerojen taseus, maksimilämpötilan rajoitus yms.
<b>Kuivatuslaite</b>	Sillan kansilaatalle satavan tai valuvan veden poisjohtamisen mahdollistava rakenneos.
<b>Liikuntasäuma</b>	Lämpö- ja kosteuslaajenemisesta johtuvien muodonmuutosten aiheuttamien liikkeiden ja elämisen salliva säuma eri rakenteiden välillä.
<b>Muotoiluvalu</b>	Sillan kansilaatan pinnan korjaamiseksi ja muotoilemiseksi vaatimusten mukaiseksi alustaksi pintarakenteille tehtävä yleensä hyvin ohut (20-80 mm) valu.
<b>Pakkasrapautuminen</b>	Sillan betonirakenteiden yleisin vauriotyyppi. Betonin jäätymis-sulamissykli aikaansaa betonin huokosissa olevan veden laajenemaan jäätyessään ja siitä aiheutuu betonin etenevää hapertumista.
<b>Sääsuoja</b>	Sääolosuhteilta suojaava teltta, jota sillankorjauksessa käytetään lähinnä sillan kannen eristystyönaikana.

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Destia Oy:n kanssa, joka on suuri infra-alan toimija Suomessa. Yritys tekee myös opinnäytetyössä käsiteltäviä maantiesiltojen pintarakenneremontteja koko Suomen alueella.

Opinnäytetyön aihe syntyi yrityksen ehdotuksesta ja tarkoituksena oli tuottaa työohje vastaavanlaisille projekteille jatkossa. Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää esim. perehdytykseen uuden työnjohtajan aloittaessa sillankorjausprojektilla.

Kaista kerrallaan tehtävä sillan pintarakenneremontti tarkoittaa sitä, että sillalla on toisella kaistalla koko työmaan ajan liikenne ja kaikki korjaustyöt joudutaan tekemään kahdessa vaiheessa. Tämän seurauksena työaika venyy pitemmäksi kuin se olisi koko silta kerralla tehtäessä. Lisäongelmia aiheuttaa jatkuva liikennevirta työmaa-alueen läpi. Työturvallisuuskysymykset korostuvat entisestään. Työt aloitetaan yleensä aina keväällä keskilämpötilan noustessa lämpöasteille. Uusi päällyste pitää olla valmis lokakuun loppuun mennessä. Pienemmillä silloilla onnistutaan tekemään koko korjaus kesän aikana, mutta isommilla silloilla voidaan joutua tekemään kahden kesän aikana yksi kaista per kesä. Tämä paljon riippuu kohteesta. Opinnäytetyössä keskitytään yhden kesän aikana tehtäviin siltojen pintarakenneremontteihin.

Koska opinnäytetyön aihe on kokonaisuudessaan varsin laaja, on tarkoitus käsitellä sitä enemmän pintapuolisena ohjeena eri työvaiheista, aikataulusta, laadunvarmistuksesta ja työturvallisuudesta. Tarkoituksena oli tuottaa mahdollisimman kattava yleiskuva koko remonttiprojektista menemättä kovin syvälle mihinkään osa-alueeseen. Opinnäytetyön alussa käsitellään hieman siltojen kuntoa Suomessa yleisesti. Tämän lisäksi verrataan tienpidon rahoituksen eroavaisuuksia Suomen ja Ruotsin kesken.

## **2 SUOMEN LIIKENNEVERKKO**

Suomen liikenneverkko sisältää tie- ja rataverkon sekä vesiväylät. Näiden ylläpidosta, kehittämisestä ja rahoituksesta vastaa Väylävirasto yhdessä paikallisten toimijoiden kanssa. (Liikenneverkko, [Viitattu 17.3.2020].)

### **2.1 Tieverkko**

Suomen tieverkkoon kuuluvat valtion omistamat maantiet, kuntien ja kaupunkien omistamat katuverkot sekä yksityistiet. Suomen koko tieverkko on pituudeltaan noin 454 000 kilometriä, josta yksityis- ja metsäautoteiden määrä on noin 350 000 km ja kaupunkien ja kuntien omistaman katuverkon pituus noin 26 000 km. Väylävirasto huolehtii valtion omistaman maantietieverkon ylläpidosta ja kehittämisestä yhdessä alueellisten ELY-keskusten kanssa. Valtion omistamia ja Väyläviraston hallinnoimia maanteitä Suomessa on kaikkineen noin 78 000 km.

Maantieverkosta pääteiden eli valta- ja kantateiden osuus on reilu 13 000 kilometriä, josta moottoriteiden osuus on noin 900 km. Seutu- ja yhdysteiden osuus on suurin eli jäljelle jäävät 64 900 km, mutta silti ne edustavat liikenteeltään vain runsasta kolmannesta. Kevyen liikenteen väylien osuus on reilut 5000 km. Päällystettyjen teiden osuus on noin 65 % maanteistä, mikä tarkoittaa n. 50 000 kilometriä. Vähäliikenteisten ja alimpaan hoitoluokkaan kuuluvien teiden osuus on yli puolet maantieverkosta n. 41 000 km. Koko maantieverkkoa ei ole mahdollista pitää niin hyvässä kunnossa, ettei ongelmia tulisi vaikeimpien keliolosuhteiden aikana. (Tieverkko, [Viitattu 17.3.2020].)

### **2.2 Rataverkko**

Väyläviraston vastuu alueeseen kuuluu rataverkon kehittäminen, yllä- ja kunnossapito. Tehtävänä on huolehtia, että rataverkko on sellaisessa kunnossa, jotta liikennöinti on tehokasta ja turvallista. Suomen liikennöidyn rataverkon laajuus vuoden 2018 lopussa oli 5 926 kilometriä, siitä sähköradan osuus oli 3 330 kilometriä. Kaksi-

tai useampiraiteista rataosuutta oli 692 kilometriä ja loput 5234 kilometriä oli yksiraitteista. Rataverkon kunnossapitoon käytetään lähes 200 miljoona euroa vuodessa. Suomessa rataverkko on rakennettu 1524 mm raideleveydellä, poiketen muun Euroopan suurimmaksi osin käyttämästä 1435 mm:n leveydestä. Sähköradalla käytettävä jännite ja taajuus ovat 25 kV ja 50 Hz. Suurimmalla osaa rataverkkoa on 22,5 tonnin akselipainorajoitus, mutta osalla verkkoa on käytössä 25 tonnin sallittu akselipaino. Suurimmat sallitut nopeudet ovat henkilöjunilla 220 km/h ja tavarajunilla 120 km/h. (Rataverkko, [Viitattu 17.3.2020].)

### **2.3 Vesiväylät**

Väylävirasto vastaa valtaosasta Suomen vesiväylistä ja kanavista, joiden ylläpito ja kehittäminen tehdään huomioiden sekä kauppamerenkulun, että muunkin vesiliikenteen vaatimukset. Väylävirastolla on ylläpidettävänä hiukan alle 8 300 kilometriä rannikkoväyliä ja noin 8 000 kilometriä sisävesiväyliä, eli yhteensä noin 16 300 kilometriä, joista n. 4000 kilometriä on kauppamerenkulun käytössä. (Vesiväylät, [Viitattu 17.3.2020].)

### **2.4 Sillat**

Väyläviraston omistuksessa oli 1.1.2019 15054 tiesiltaa ja 2575 rautatieverkon siltaa. Suomessa siltarakentaminen on ollut varsin voimakasta 1960-luvulta alkaen, josta lähtien siltoja rakennettiin pinta-alan perusteella likipitään kolminkertainen määrä edelliseen vuosikymmeneen verrattuna. Tahti jatkui vilkkaana 1960-luvulta aina 1990-luvun lopulle asti. Rautatiesiltoja rakennettiin huomattavasti vielä 2000-luvun alkuun asti. (Väyläviraston sillat 2019, 3.) Suomen päätieverkko ja sen sillat on rakennettu 1960-1970-luvuilla ja merkittävä osa niistä on nyt korjaus- tai uusimisiässä. (RIL-179 2018, 25).

Kokonaismäärästä 15054 kpl varsinaisten siltojen osuus oli 1.1.2019 11799 kpl ja putkisiltoja 3255 kpl. Betonisiltoja tuosta määrästä on 10145 kpl eli 86 %. Betoni

onkin ylivoimaisesti yleisin siltojen rakennusmateriaali Suomessa. Varsinaisten siltojen jakautuminen maakunnittain selviää taulukosta 1. sivulla 17 (Väyläviraston sillat 2019).

Taulukko 1. Sillat maakunnittain toiminallisen luokan mukaan. (Väyläviraston sillat 2019, 17).

Maakunta	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie	Muu tie	Yhteensä
Etelä-Karjala	111	16	32	111	18	288
Etelä-Pohjanmaa	91	64	55	247	32	489
Etelä-Savo	133	22	88	160	17	420
Kainuu	72	36	105	235	12	460
Kanta-Häme	134	22	55	126	43	380
Keski-Pohjanmaa	42	10	32	100	14	198
Keski-Suomi	216	50	106	329	48	749
Kymenlaakso	152	7	95	136	47	437
Lappi	269	138	264	415	69	1155
Pirkanmaa	261	59	154	299	68	841
Pohjanmaa	88	19	66	167	26	366
Pohjois-Karjala	83	48	108	263	24	526
Pohjois-Pohjanmaa	373	66	233	591	49	1312
Pohjois-Savo	178	52	115	305	31	681
Päijät-Häme	227	5	74	84	33	423
Satakunta	154	29	49	254	30	516
Uusimaa	570	264	351	344	134	1663
Varsinais-Suomi	176	99	179	365	76	895
<b>Yhteensä</b>	<b>3330</b>	<b>1006</b>	<b>2161</b>	<b>4531</b>	<b>771</b>	<b>11799</b>

## 2.4.1 Siltojen kunto ja käyttöikä

Uusien taitorakenteiden suunnittelukäyttöikä perustuu kantavien rakenteiden laatuvaatimusten mukaiseen rakentamiseen sekä säilyvyyden varmistamaan hyvään päivittäiseen kunnossapitoon ja ylläpitoon. Nykyiset suunnittelukäyttöikävaatimukset eivät koske taannehtivasti vanhoja taitorakenteita, jotka on suunniteltu ja rakennettu ennen nykyvaatimusten voimaantuloa. (RIL-179 2018, 371.)

Ennen 1980-lukua siltojen suunniteltuna käyttöikänä on käytetty yleisesti 50 vuotta. 1980-1990-luvuilla sillansuunnittelun käyttöikätaavoitetta kasvatettiin 70 vuoteen. Oikeanlaisella hoidolla ja oikeanaikaisella korjauksella voidaan elinkaarta useimmiten

pidentää jopa nykyvaatimusten mukaiseksi, mikä betonisilloilla tarkoittaa 100 vuoden käyttöikää. (RIL-179 2018, 371.)

Siltojen nykyiset suunnitellut käyttöiät ovat seuraavat:

- |                |            |
|----------------|------------|
| ▪ betonisillat | 100 vuotta |
| ▪ terässillat  | 100 vuotta |
| ▪ puusillat    | 50 vuotta  |
| ▪ putkisillat  | 100 vuotta |

(RIL-179 2018, 371.)

Rakenteen peruskorjaus tehdään, kun sen kunto edellyttää laajamittaista ja kattavaa korjausta. Peruskorjauksessa tavoitteena on palauttaa sillan toiminnallinen kunto alkuperäiselle tai nykyvaatimusten edellyttämälle tasolle. Tavoitekäyttöiästä, materiaalista, kunnosta ja vaurioista riippuen toteutetaan peruskorjaus yleensä 1-2 kertaan sillan käyttöiän aikana. Teräsbetonisella tiesillalla tämä tarkoittaa noin 30-40 vuoden peruskorjausväliä. (RIL-179 2018, 442.)

Peruskorjauksessa korjataan tai uusitaan kaikki vaurioituneet ja kuluneet sillan ja sen ympäristön rakenneosat. Peruskorjausta varten rakenteelle tehdään erikoistarkastus ja korjaussuunnitelma. (RIL-179 2018, 442.)

#### **2.4.2 Ajoneuvoyhdistelmien maksimimassan kasvatuksen vaikutukset**

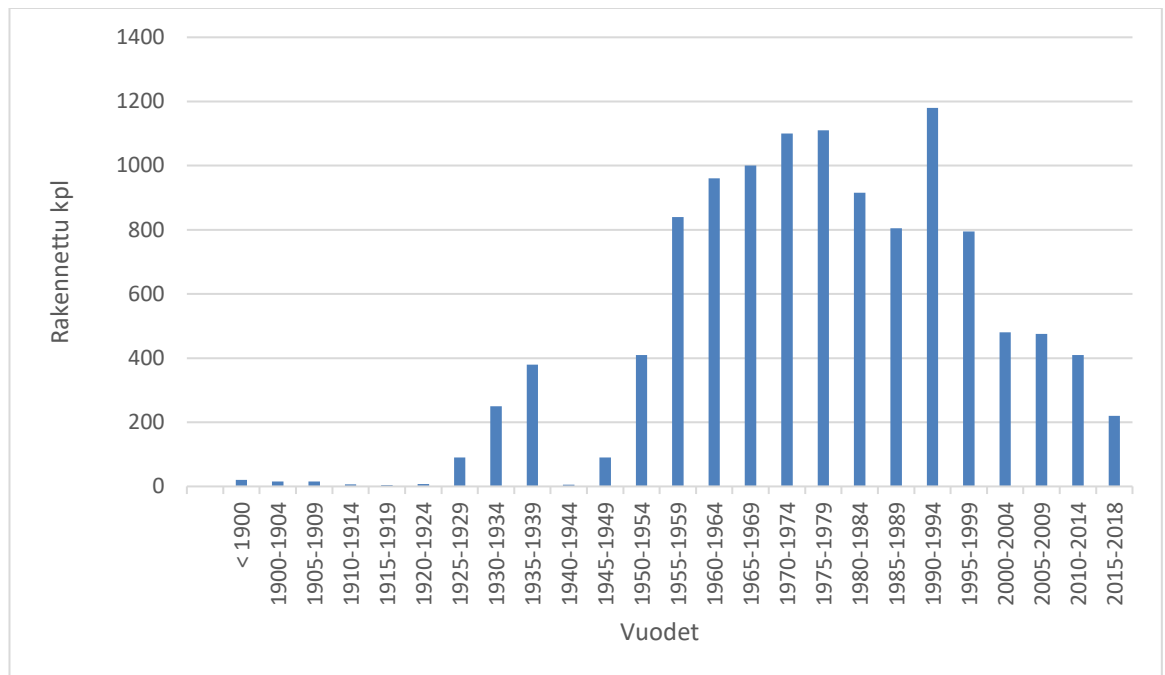
Vuonna 2013 säädetty ajoneuvoasetus 407/2013, 23 §, jossa kasvatettiin sallittuja ajoneuvopainoja 60:stä tonnista 76:een tonniin, lyhentää tiesiltojen käyttöikää. Siltatyyppistä ja sillan kunnosta riippuen yksittäisen sillan käyttöikä lyhenee 0-30 vuotta. Erityisesti käyttöiän lyhentyminen koskee ennen 1970-lukua suunniteltuja ja rakennettuja maantiesiltoja. Näitä peruskorjauskuntoisia siltoja on noin 4200 kpl (RIL-179 2018, 373.) Siltojen eri rakenneosilla on hieman erilaiset tavoitekäyttöiät, jotka selviävät taulukosta 2. sivulla 19.

Taulukko 2. Kokemukseen perustuvat tavoitekäyttöiät sillan rakenneosille. (RIL-179 2018, 371).

<b>Reunapalkit</b>	<b>suolarasitus ei suolarasitusta</b>	<b>40 vuotta 50 vuotta</b>
<b>Teräsrakenteen pintakäsittely</b>	<b>uudismaalaus/ kunnossapi- tomaalaus uusintamaalauksena paikkamaalauksena kuumasinkitys ruiskusinkitys</b>	<b>35 vuotta 30 vuotta 20 vuotta 40 vuotta 30 vuotta</b>
<b>Puurakenteet</b>	<b>säältä suojatut helposti uusittavat kannet</b>	<b>50 vuotta 25 vuotta 20 vuotta</b>
<b>Betonirakenteiden pinnoitteet</b>		<b>20 vuotta</b>
<b>Vedeneristys</b>	<b>kumibitumikermi nestemäiset mastiksieristys</b>	<b>40 vuotta 40 vuotta 30 vuotta</b>
<b>Liikuntasaumalaitteet</b>		<b>30 vuotta</b>
<b>Laakerit</b>	<b>kumilevy ja pesälaakeri kalottilaakeri</b>	<b>50 vuotta 70 vuotta</b>

Käytännön kokemuksiin perustuen silta tulee 30–40 vuoden iässä peruskorjaus-ikänsä. Suomen tieverkon ikärakenteen vuoksi siltojen korjaustarve on kasvanut voimakkaasti 1990-luvulta lähtien ja vähintään sillä tasolla se tulee pysymään pitkään myös tulevana vuosina. 1970-luvulta lähtien siltojen kuntoa on seurattu noin viiden vuoden välein tehtävillä yleistarkastuksilla. Vuodesta 1990 alkaen on tarkastustiedot tallennettu Siltarekisteriin. Suomen siltojen ikäjakauma esitettyinä sivun 20 kuviossa 1. (Väyläviraston sillat 2019, 3.)

Kuvio 1. Varsinaisten siltojen ikäjakauma (kpl). (Väyläviraston sillat 2019, 36.)



#### 2.4.3 Siltojen vuosittaiset peruskorjausmäärät vuosina 2013-2018

Varsinaiset sillat vuosittain:

- 2013, 120 korjattua siltaa (53640 m<sup>2</sup>) (Liikenneviraston sillat 2014, 91).
- 2014, 97 korjattua siltaa (72869 m<sup>2</sup>) (Liikenneviraston sillat 2015, 93).
- 2015, 89 korjattua siltaa (51205 m<sup>2</sup>) (Liikenneviraston sillat 2016, 96).
- 2016, 110 korjattua siltaa (75388 m<sup>2</sup>) (Liikenneviraston sillat 2017, 58).
- 2017, 70 korjattua siltaa (44823 m<sup>2</sup>) (Liikenneviraston sillat 2018, 51).
- 2018, 90 korjattua siltaa (52024 m<sup>2</sup>) (Väyläviraston sillat 2019, 91).
- Keskimäärin vuosina 2013-2018 on korjattu 96 siltaa vuodessa ja pinta-alana mitattuna 58325 m<sup>2</sup>/vuosi



Siltojen kuntoluokitus luokittelukriteereineen on esitettyä ao. taulukossa 3. Luokituksessa on tarkoituksena jakaa sillat ylläpitotarpeiden mukaisesti kuntoluokkiin, jotka yksinkertaistettuna voidaan kuvata seuraavasti: (Väyläviraston sillat 2019, 48.)

- **Erittäin hyvä (5) – ei ylläpitotarpeita**
- **Hyvä (4) – vähäistä kunnostusta**
- **Tyydyttävä (3) – peruskorjaus tulossa**
- **Huono (2) – peruskorjaus nyt**
- **Erittäin huono (1) – peruskorjaus myöhässä**

Taulukko 3. Siltojen lukumäärät kuntoluokkien mukaisesti ELY-keskuksittain. (Väyläviraston sillat 2019, 48).

ELY-keskus	Kuntoluokka 1	Kuntoluokka 2	Kuntoluokka 3	Kuntoluokka 4	Kuntoluokka 5	Ei tiedossa	Siltoja yhteensä
EPO	6	62	481	451	45	7	1052
KAS		20	154	372	95	27	668
KES	1	45	340	636	32	1	746
LAP	2	37	424	443	50	6	1155
PIR	5	36	344	1071	6	5	839
POP	2	43	591	864	47	16	1770
POS	7	66	586	1463	62	39	1624
UUD	5	95	681	532	125	16	2385
VAR	10	91	670	58	68	6	1377
Väylä		2	4	58	30	89	183
<b>Yht.</b>	<b>38</b>	<b>497</b>	<b>4275</b>	<b>6217</b>	<b>560</b>	<b>212</b>	<b>11799</b>

Siltojen lukumäärää kuntoluokissa 1 ja 2 yht. 535 siltaa. Verrattaessa lukumäärää vuosittaiseen korjausmäärään keskimäärin 96 kpl/ vuosi voidaan helposti päätellä, että nykyinen korjaustahti ei ole riittävä korjausvelan lyhenemisen kannalta. Kuntoluokassa 3 olevat 4275 siltaa ovat myös tulossa peruskorjaukseen lähivuosina. Kuntoluokan 2 sillat olisi korjattava viipymättä, ja kuntoluokassa 1 olevista silloista ainakin osa on jo niin huonossa kunnossa, että ne saatetaan joutua rakentamaan kokonaan uudestaan. ”Rakenne sijoitetaan yleensä peruskorjausohjelmaan, kun sen kuntoluokka on huono. Jos kuntoluokka on erittäin huono, on peruskorjaus tehtävä

kiireellisenä tai rakenne käytettävä hallitusti loppuun.” (RIL-179 2018, 442). Taulukossa 4. on kerrottuna hieman tarkemmin, mitä eri kuntoluokat käytännössä tarkoittavat.

Taulukko 4. Siltojen kuntoluokitus. (Väyläviraston sillat 2019, liite1).

Kuvaus kunnosta	Luokitteluperusteet		
	Varsinaiset sillat	Putkisillat	Rautatiesillat
<b>5 ERITTÄIN HYVÄ</b> Uusi tai lähes uuden veroinen silta.	LYK = 0,0 - 0,50 ja YKA = 0	LYK = 0,0 - 0,50 ja YKA = 0	LYK = 0,0 - 0,50 ja YKA = 0
<b>4 HYVÄ</b> Hyväkuntoinen silta, jossa on normaalia kulumista ja ikääntymistä. Sillan yleiskunto voi olla hyvä, vaikka jonkin pää rakenneosan kuntoarvio on tyydyttävä tai huono.	LYK = 0,51, 1,25 tai YKA = 1 eikä kumpikaan huonompi	LYK = 0,51, 1,25 tai YKA = 1 eikä kumpikaan huonompi	LYK = 0,51, 1,25 tai YKA = 1 eikä kumpikaan huonompi
<b>3 TYYDYTTÄVÄ</b> On jo puutteita ja vaurioita, kuten rapautumista tai ruostumista, mutta korjaamista voidaan vielä siirtää. Yleiskunto voi olla tyydyttävä, vaikka jonkin pää rakenneosan kuntoarvio olisikin huono tai erittäin huono.	LYK = 1,26 - 2,00 tai YKA = 2 eikä kumpikaan huonompi	LYK = 1,26 - 2,00 tai YKA = 2 tai jompikumpi on huonompi, mutta teräsputkessa ei ole vaurioluokan 4 korroosiovauriota	LYK = 1,26 - 2,00 tai YKA = 2 eikä kumpikaan huonompi
<b>2 HUONO</b> Useita selvästi havaittavia korjausta vaativia vaurioita tai jokin yksittäinen vakava vaurio. Erikoistarkastuksen ja peruskorjauksen tarve on ilmeinen.	LYK = 2,01 - 2,75 tai YKA = 3 eikä kumpikaan huonompi tai kansilaatan vesivuotovaurio vaurioluokassa 4 tiellä, jota ei suolata	LYK = 2,01 - 3,75 tai YKA = 3 eikä kumpikaan huonompi ja teräsputkessa on vaurioluokan 4 korroosiovaurio	LYK = 2,01 - 2,75 tai YKA = 3 eikä kumpikaan huonompi tai kansilaatan vesivuotovaurio vaurioluokassa 4
<b>1 ERITTÄIN HUONO</b> Silta on täydellisen peruskorjauksen tai jopa uusimisen tarpeessa. Kunto ei ole hyväksyttävissä. Vaurioita on niin paljon, että pelkästään niiden kirjaaminen on työlästä.	LYK = 2,76 - 4,00 tai YKA = 4 tai kansilaatan vesivuotovaurio vaurioluokassa 4	LYK = 3,26 - 4,00 tai YKA = 4	LYK = 2,76 - 4,00 tai YKA = 4

LYK = Laskettu yleiskunto

YKA = Sillantarkastajan antama yleiskuntoarvio

### 3 LIIKENNEVERKON RAHOITUS

#### 3.1 Rahoitus Suomessa

Väyläviraston rahoitus tulee valtion talousarviosta, jolloin sen suuruus on aina istuvan hallituksen linjan mukainen ja altis poliittiselle pelille ja aluepolitiikalle. Kuten edellä mainittiin, siltojen korjaustarpeet jatkuvat tulevaisuudessakin vähintään nykyisellä tasolla. Suurimpana pullonkaulana korjauksien lisääntymiselle voidaan pitää valtion rahoitusta. Pieni vuosittainen korjausmäärä aiheuttaa myös helposti sen, että urakoitsijat ja osaavat työntekijät vähenevät entisestään ja infra-alan osaavat tekijät ovat muutenkin vähissä. Suomessa iso osa liikenneverkon rahoituksesta ja etenkin korjauskohteet ovat tiedossa todellisuudessa vain vuodeksi kerrallaan tai maksimissaankin hallituskauden ajalle (4 vuotta), mikä väistämättä johtaa siihen, että korjaustoimien ennakkosuunnittelu on vaikeaa, ellei jopa täysin mahdotonta tehdä tehokkaalla, taloudellisella ja järkevällä tavalla.

Suomen koko tieverkoston kuntoa on ylläpidettävä systemaattisesti. Verkoston ylläpito vaatii pitkäjänteistä ja jatkuvaa, yli vaalikausien ulottuvaa rahoitusta. (ROTI 2019, 15.)

Uusimpien arvioiden mukaan liikenneinfrastruktuurin rahoituksen pitäisi olla 2,3 mrd. € vuosittain, mikä vastaa noin prosenttia bruttokansantuotteestamme. Rahoituksesta 1,3 mrd. € olisi ohjattava perusväylän ylläpitoon ja loput investointeihin. Tällä hetkellä infraan investoidaan vuosittain noin 0,45 miljardia euroa ja ylläpitoon käytetään noin miljardi euroa (ROTI 2019, 16.), eli yhteensä käytetään noin 1,45 miljardia € vuodessa. Rahoitusta tarvittaisiin siis lisää 0,85 miljardia € vuodassa.

#### 3.2 Pohdintaa Ruotsin ja Suomen rahoitusmallien eroista

Ruotsissa on käytössä malli, jossa rahoitus on tiedossa aina 12 vuotta eteenpäin. Ruotsin mallissa poliittinen peli ei pääse vaikuttamaan yhtä vahingollisesti tieverkon hoitoon. Lisäksi kun rahoitus on pääosin tiedossa 12 vuotta eteenpäin, ennakkosuunnittelu helpottuu huomattavasti. Urakoitsijoiden työkantaa voidaan jakaa tasaisemmin, ja korjaukset voidaan tehdä ajallaan. Meillä Suomessa on tällä hetkellä se

tilanne, että työn alle tulevat projektit on tiedossa vain noin vuodeksi kerralla. Suurimmaksi osaksi vuoden projektit tulevat laskentaan helmi-maalliskuussa. Tämän seurauksena urakoiden aloitukset venyvät pitkälle kevääseen ja toisaalta kaikki urakat ovat lopulta käynnissä samaan aikaan, ja tämä tukkii hetkellisesti urakoitsijoiden ja aliurakoitsijoiden kalenterit ja kustannukset nousevat ja laatu heikkenee. Oman osansa tähän kaikkeen tuo lisäksi neljän vuoden välein tulevat eduskuntavaalit ja uusi hallitus, joista jokainen haluaa tehdä omanlaistansa politiikkaa ja kohdistaa rahoitusta omien intressiensä mukaan. Perusväylänpidon rahoitus pitäisi olla selvillä vähintään kymmeneksi vuodeksi eteenpäin ja ainoastaan lisähankkeet olisivat poliittisen väännön kohteena. Näin voitaisiin turvata se, että liikenneverkon kunto lähitisi kohenemaan. Mitään pikaista ratkaisua ei ole, mutta ainakin suunta olisi oikea.

Liikenneverkostossamme on 2,5 miljardin euron suuruinen korjausvelka, ja verkon kunto heikentyy vuosi vuodelta (Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 2019, 111).

Ruotsin ja Suomen liikenneverkon rahoitusta verrattaessa hyvin tilannetta kuvaava luku on kilometrille laskettu käytettävä perusväylänpidon rahamäärä. Suomessa on 78 000 km valtion tieverkkoa ja perusväylänpidon rahoitus vuodessa (2019) 510 milj. €, jolloin luvuksi saadaan 6538 €/km. Ruotsissa vastaavat luvut ovat 98 500 km valtion tieverkkoa ja rahoitus vuodessa 1337 milj. €, jolloin vastaava luku on 13574 €/km eli Ruotsissa rahoitus on yli kaksinkertainen Suomeen verrattuna. (Liikenneinfran rahoitus, 2019.)

Suomessa kerätään vuodessa autoilusta veroja ja muita maksuja yhteensä noin 8 mrd.€, joista perusväylänpitoon ja infra investointeihin päättyy noin 19 % eli 1,5 mrd. €. Ruotsissa vastaava luvut ovat 9,6 mrd.€, josta liikenneverkkoon päättyy noin 53 % eli 5,1 mrd. €. (Liikenneinfran rahoitus 2019, 23.)

### **3.3 Liikenneverkon rahoitus hallitusohjelmassa 2019-2023 (Marinin hallitus)**

Hallitusohjelmassa perusväylänpidon pysyvä tasontarkistus vuosille 2020-2023 seuraavasti:

2020 +300 milj. €, 2021 +300 milj. €, 2022 +400 milj. €, 2023 +200 milj. €

Tämä tarkoittaa seuraavanlaista kokonaisrahoitusta perusväylänpitoon vuosille 2020-2023:

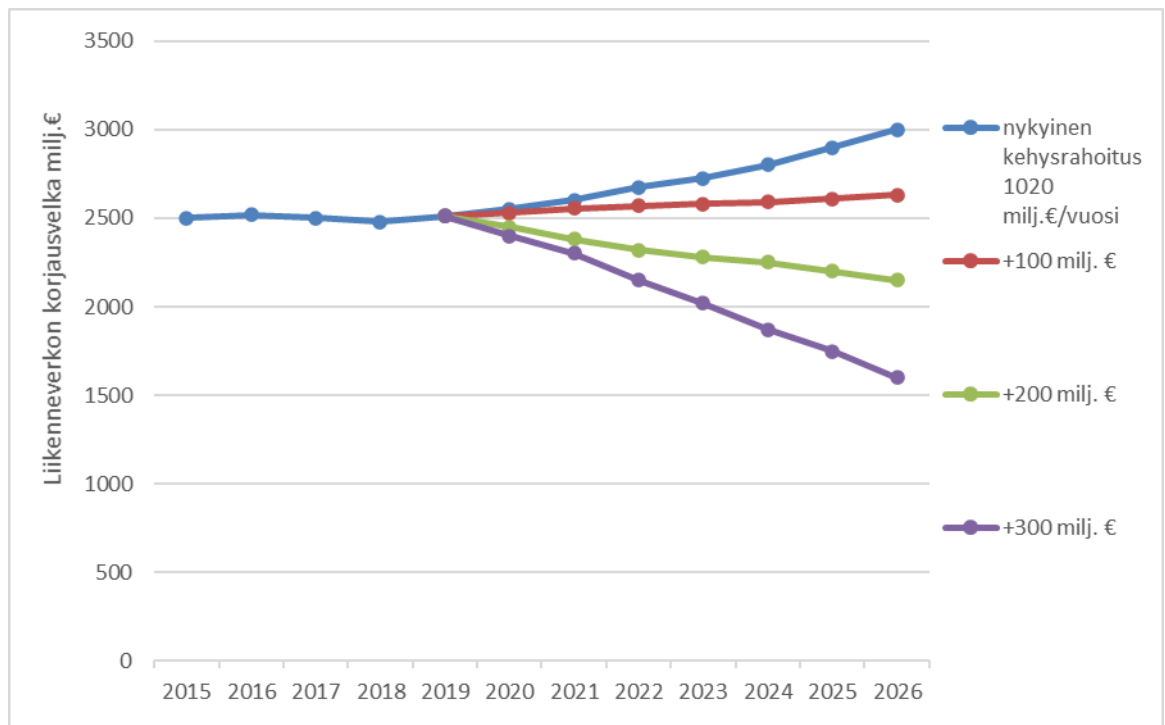
2020 1,4 mrd. €, 2021 1,36 mrd. €, 2022 1,4 mrd. €, 2023 1,2 mrd. € (Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 2019, 205.)

Vertailu vuosiin 2016-2019. Vuosina 2015- 2018 oli perusväylänpidon rahoitus nostettu lisärahoituksen turvin ja vuonna 2019 käytössä oli ainoastaan perusrahoitus:

2016 1,13 mrd. €, 2017 1,26 mrd. €, 2018 1,36 mrd. €, 2019 1,05 mrd. € (Millaisella väyläverkolla liikut ja kuljetat vuonna 2020 2019.)

Rahoitus tulee jatkossa olemaan perusrahoituksen turvin samalla tasolla, kuin oli edellisen hallituskauden aikana lisärahoituksen turvin. Hallitusohjelmassa tehty pysyvä väyläpidon tasonkorotus nostaa jatkuvan rahoituksen sille tasolle, että korjausvelan pitäisi lähteä loivaan laskuun. Kun korotus on tehty jatkuvaan perusrahoitukseen, eivät perusväylänpidon toimet ole jatkossa niin riippuvaisia istuvan hallituksen ohjelmasta, jolloin voidaan olettaa, että parempi suunta jatkuu myös seuraavan hallituksen aikana. Perusväylänpidon rahoitus on jatkossa sillä tasolla, jota ROTI 2019 -raportissa ja kuviossa 2. sivulla 25 esitettiin, eli 1,3 mrd. € vuodessa. Liikenneverkon kokonaisrahoitus on vuosina 2020-2023 1,8-1,9 mrd.€ vuodessa, mikä jää vielä reilusti alle ROTI 2019 -raportissa esitetyn 2,3 mrd. €, mutta tuo vuosittainen 0,3-0,4 mrd. € vaje on investoinneissa.

Kuvio 2. Valtion väylien korjausvelka eri rahoitustasoilla. (ROTI 2019, 17).



### 3.4 Vallitsevan Koronavirus COVID-19 -kriisin vaikutukset

On erittäin todennäköistä, että Koronaviruspandemian seurauksena kasvava valtion velka ja talouden sukellus tulevat vaikuttamaan negatiivisesti myös perusväylänpidon rahoitukseen lähitulevaisuudessa. Ilmasto muutoksen vaikutusten seurauksena Suomen tieverkko ja sillat joutuvat entistä kovemman rasituksen alle lähivuosikymmeninä ja rahaa tarvittaisiin runsaasti lisää, mutta sitä tuskin on luvassa. Valtiotaloudella puhutaan ja haaveillaan sähköautoilun räjähdysmäisestä lisääntymisestä ja laatusverkoston laajentumisesta koko maan kattavaksi, mutta totuus taitaa olla se, että edes tiestö ei ole tällä menolla koko maan kattava. Valitettavasti.

## 4 YLEISTIETO SILLOISTA

Silta on taitorakenne, joka johtaa ajoneuvo-, juna-, henkilö- tai muun liikenteen esteen yli. Sillaksi kutsutaan rakennetta, jonka vapaa-aukko on vähintään 2,00 m. Rinnakkaiset rakenteet katsotaan yhdeksi sillaksi, jos niillä ei ole ajoratojen keskellä omia reunapalkkeja. Kahdella eri sillalla voi olla yhteiset maa- ja välituet. (RIL-179 2018, 39.)

Taitorakenteita ovat kaikki sellaiset rakenteet, joiden rakentamiseksi on laadittava lujuuslaskelmiin perustuvat suunnitelmat ja joiden rakenteellinen vaurioituminen suunnittelu- tai rakennusvirheen seurauksena saattaa aiheuttaa vaaraa ihmisille tai liikennejärjestelmälle ja/ tai merkittäviä korjauskustannuksia rakenteelle tai sen välittömälle ympäristölle. Siltojen lisäksi tyypillisiä taitorakenteita ovat rautatierummut, satamalaiturit, tunnelit, paalulaatat ja tukimuurit. Vesiväylien taitorakenteita ovat mm. sulut, johteet ja kiinteät merimerkit. (RIL-179 2018, 39.)

Sillat jaetaan jännemittojen summan perusteella seuraaviin ryhmiin:

- pieni silta alle 20 m
- keskisuuri silta 20–60 m
- suuri silta yli 60 m (Sillantarkastusohje 2004, 20.)

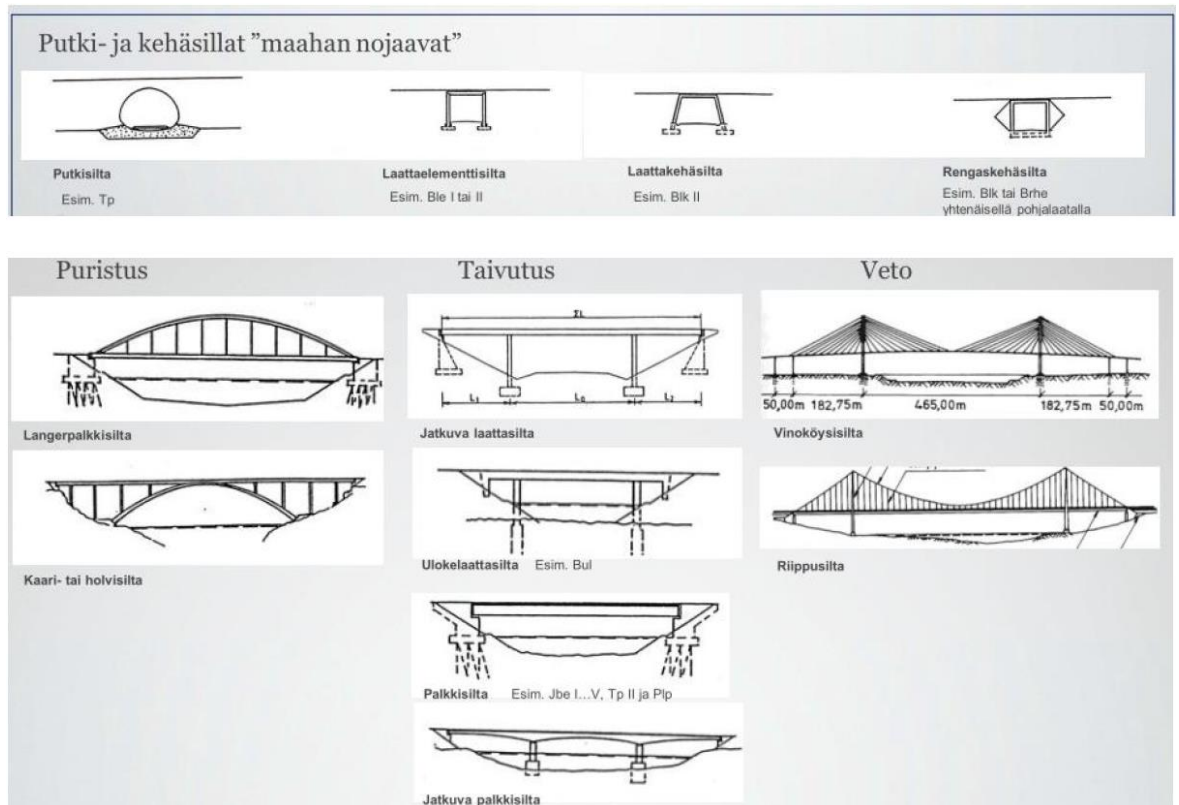
### 4.1 Siltatyypit

Siltatyyppi kertoo sillan pääkannattimen staattisen toimintatavan. Pääkannattimen rakennusmateriaaleja ovat teräsbetoni, jännitetty betoni, teräs, kivi tai puu. (RIL-179 2018, 45.)

Siltatyypit jaotellaan seuraavasti:

- putki ja kehäsillat (RIL-179 2018, 45.)
- taivutetut siltatyypit, joita ovat laatta-, palkki ja ristikkopalkkisillat (RIL-179 2018, 45.)

- puristetut siltatyypit, joita ovat kaari-, holvi- ja langer-palkkisillat (RIL-179 2018, 46.)
- vedetyt siltatyypit, joita ovat vinoköysi- ja riippusillat (RIL-179 2018, 46.)
- erikoissillat, joita ovat avattavat- ja ponttonisillat (RIL-179 2018, 46.)



Kuva 1. Siltatyypit eriteltynä rakenteellisen toiminnan perusteella. (RIL-179 2018, 46).

#### 4.1.1 Betonisillat

Teräsbetonia alettiin Suomessa käyttää siltojen rakennusmateriaalina 1910-luvulla. ”Alkuvuosikymmenille oli luonteenomaista siltatyypien moninaisuus sekä monet rakenne- ja rakennusteknilliset ratkaisut.” Nykyisin kaikista yleisten teiden silloista on noin 67 % teräsbetonirakenteisia. Jännitettyjä ja elementtirakenteisia siltoja alettiin rakentaa yleisesti 1960-luvulla. (Sillantarkastusohje 2004, 20.)



Yleisin siltatyyppi on kuvan 2. mukainen teräsbetoninen laattasilta joko yksi- tai useampiaukkoisena. Teräsbetonisilloista yli 60 % on laattasiltoja. "Tätä siltatyyppiä voidaanakin pitää kansallisena siltatyyppinä." Kuvan 4. mukaiset teräsbetoniset laatta-kehäsillat yleistyivät 1970-luvulla, ollessaan rakennuskustannuksiltaan laattasiltoja edullisempia. Kuvan 3. mukainen teräsbetoninen holvisilta on staattisesti kokonaan puristettu rakenne. (Sillantarkastusohje 2004, 20.)



Kuva 2. Teräsbetoninen laattasilta. (Sillantarkastusohje 2004, 20).

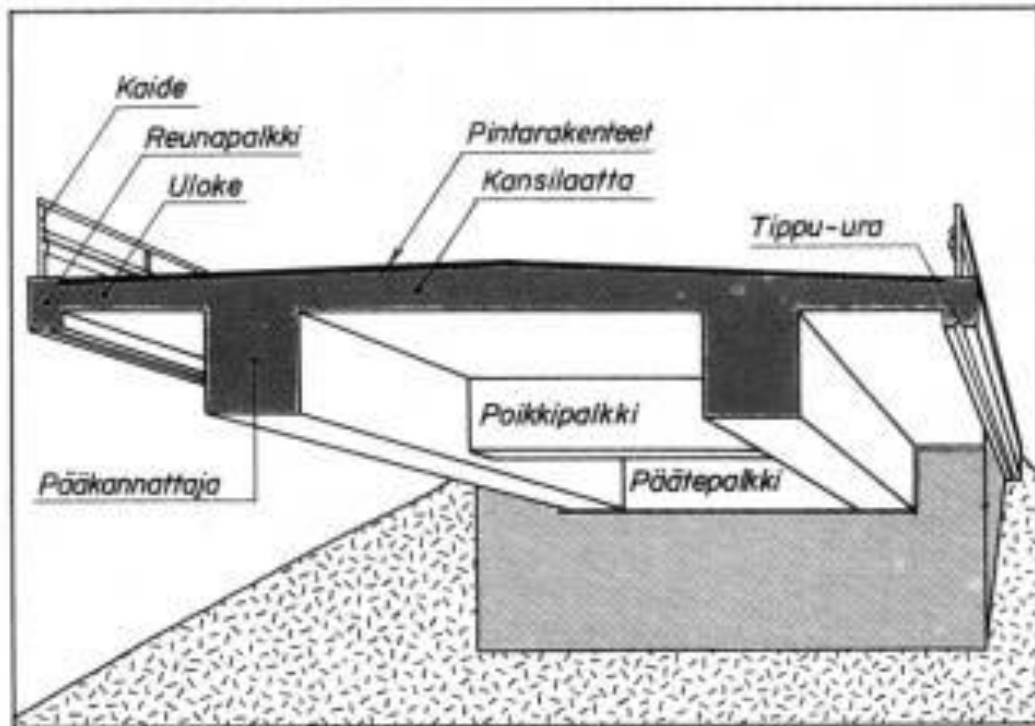


Kuva 3. Teräsbetoninen holvisilta. (Sillantarkastusohje 2004, 20).

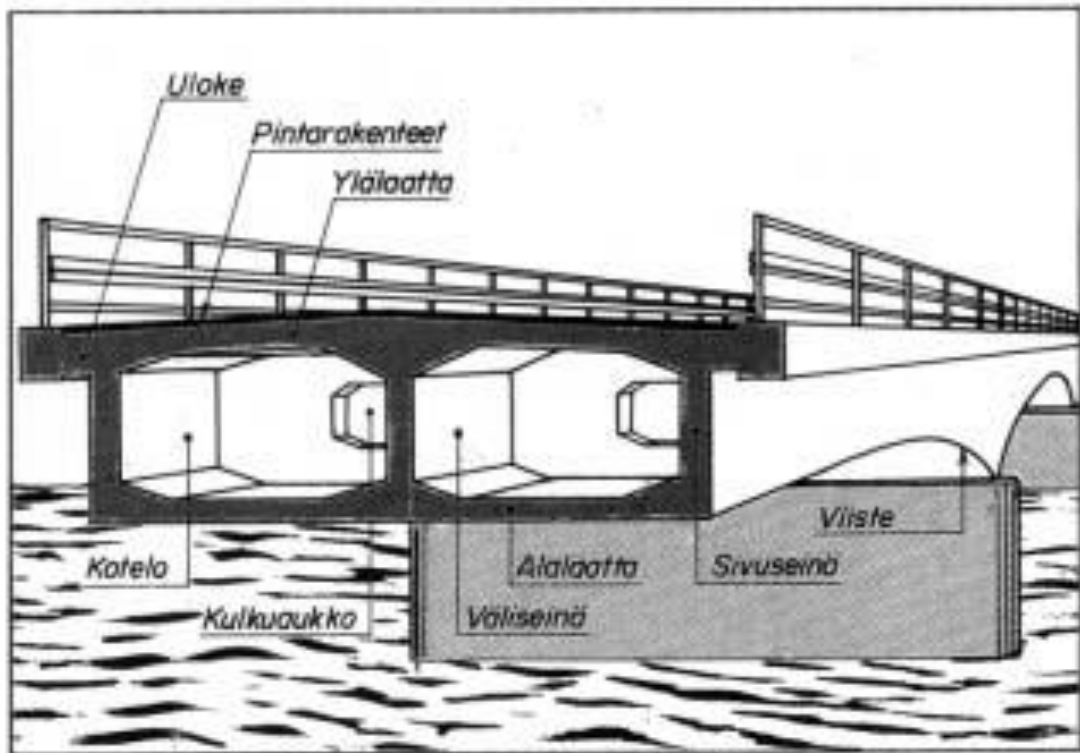


Kuva 4. Teräsbetoninen laattakehäsilta. (Sillantarkastusohje 2004, 20).

”Elementtirakentaminen, jännittäminen ja pyrkimys hoikkiin rakenteisiin näkyy 1960- ja 1970-lukujen siltatuotannossa.” Runsas määrä kuvan 5. mukaisia teräsbetonisia palkkisilloja on tehty elementtirakenteisina. Kuvan 6. mukaiset kotelopalkkisillat ja ontelolaattasillat ovat edellisten sovellutuksia. Jos silta on jännitetty, ilmaistaan se siltatyypimerkinnässä. (Sillantarkastusohje 2004, 20.)



Kuva 5. Teräsbetoninen palkkisilta. (Sillantarkastusohje 2004, 26).

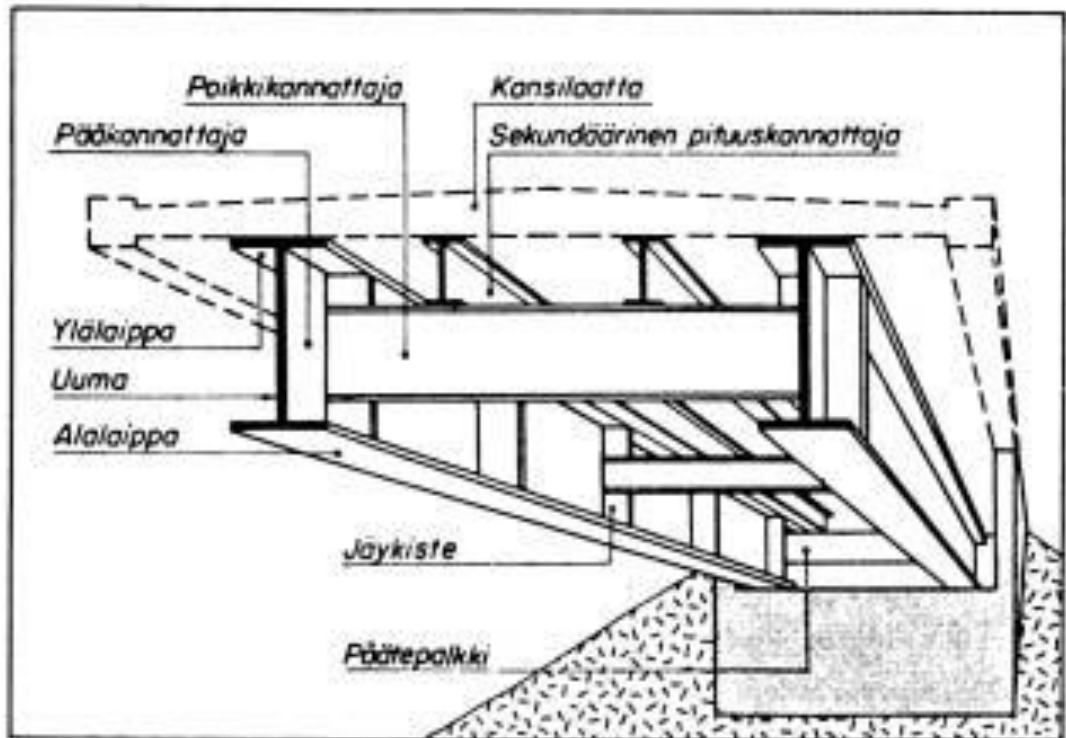


Kuva 6. Teräsbetoninen kotelopalkkisilta. (Sillantarkastusohje 2004, 26).

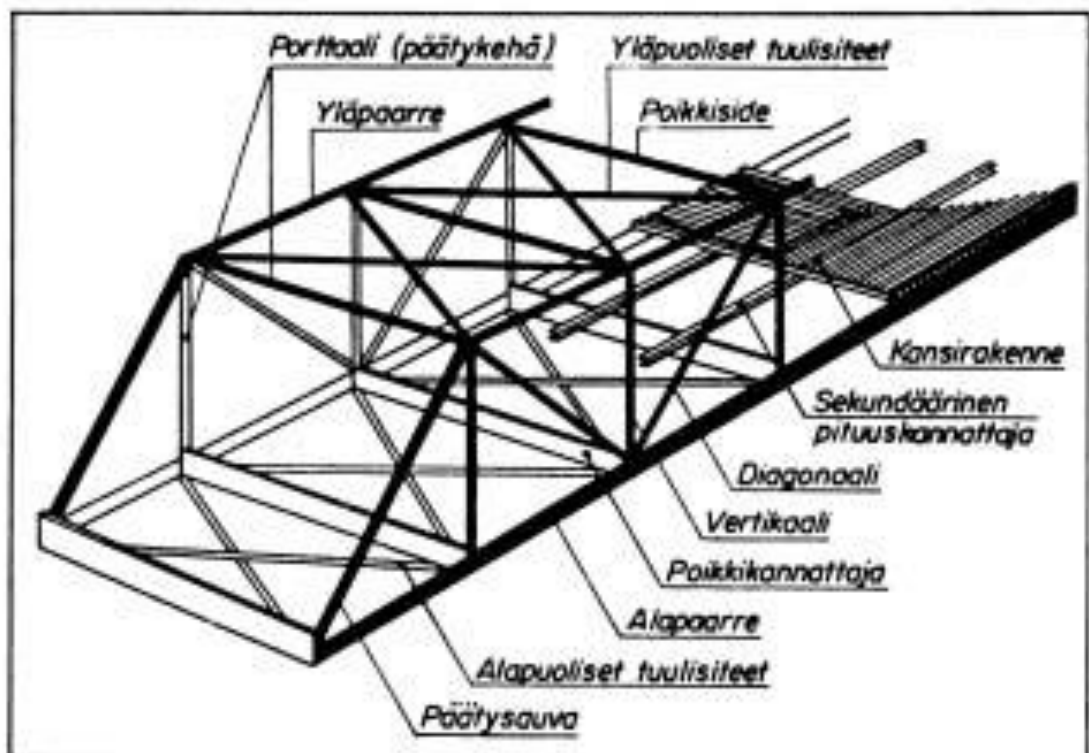
#### 4.1.2 Terässillat

Sillanrakennustaidon toi maahamme rautateiden rakentaminen. Kaikki muut 1800-luvun loppupuolella maanteille rakennetut terässillat on purettu, ainoastaan Korian silta on säilynyt. Moni silloista tuhoutui sotien aikana. Terässiltatyypeistä yleisin on kuvan 7. mukainen palkkisilta. Kansirakenteena siinä on betonia tai puuta. Teräspalkkien valmistus on tehty niittaamalla, hitsaamalla tai muototeräksestä. Suurissa silloissa kantavana rakenteena on yleensä teräs. Käytetyimpiä teräksestä valmistettuja siltatyyppejä ovat kuvan 8. mukainen ristikkosilta sekä riippu- ja kaarisillat. Viime aikoina on rakennettu palkki- ja vinoköysisilloja. Teräsputkisilloja on käytetty paljon 1960-luvulta lähtien sekä kuvan 9. mukaisina vesistösiltoina (putkisilta) että alikulkukäytävinä. Noin 20 % silloistamme on teräsputkisilloja. (Sillantarkastusohje 2004, 21.)

Yli vesiväylien vieviä aukaistavia siltoja Suomessa on noin 20 kappaletta. Tällaisia siltatyyppejä ovat kääntö-, läppä- ja nostosillat ja teräs on niiden yleisin rakennusmateriaali. (Sillantarkastusohje 2004, 21.)



Kuva 7. Teräksinen palkkisilta. (Sillantarkastusohje 2004, 28).



Kuva 8. Teräksinen ristikkosilta. (Sillantarkastusohje 2004, 28).





Kuva 9. Teräksinen putkisilta. (Sillantarkastusohje 2004, 21).

#### 4.1.3 Puusillat

Vanhin sillanrakennusmateriaali on puu, mutta lahoaminen on tuhonnut puusillat nopeasti. Paineekyllästetystä puusta rakennettu silta kestää melko pitkään ja sitä käytetäänkin pienten siltojen rakennusmateriaalina alempiluokkaisilla teillä. Puusiltojen kantavien rakenteiden materiaalina on käytetty liimapuuta 1970-luvulta lähtien. Puusiltatyypinä yleisin on Kuvan 10. tyyppinen palkkisilta (Sillantarkastusohje 2004, 21.)

Puun käyttö on jonkin verran lisääntynyt viime vuosina myös sillan rakentamisessa, mutta uusien terveydelle ja ympäristölle turvallisempien puun kyllästysaineiden käyttö on tuonut uusia ongelmia kuten seuraavasta Väyläviraston raportista käy ilmi.

Väyläviraston mukaan nykyinen painekyllästetty puutavara ei tahdo kestää sillan kansilankutuksissa. Ongelmia on etenkin vuoden 2007 jälkeen valmistuneissa puukansissa. Tuolloin luovuttiin kromin ja arseenin käytöstä puutavaran kyllästeissä ympäristö syistä ja siirryttiin käyttämään pääasiassa kuparia sisältäviä kyllästeitä. Nykyinen kylläste ei pidä lahottajasieni istukkakääpää loitolla, vaan kansilankut ovat

pahimmillaan lahonneet 6 vuodessa, vaikka oletettu käyttöikä on 20 vuotta. Lahoaminen tapahtuu sisältä päin ja siksi se on vaikeasti havaittavissa. Puu voi päällisin puoli näyttää täysin terveeltä. (Väylä tarkistaa puukantisten siltojen kunnan laho-  
tajasienien aiheuttamien vaurioiden selvittämiseksi 2019.)



Kuva 10. Liimapuupalkkisilta. (Sillantarkastusohje 2004, 21).

#### 4.1.4 Kivisillat

Kivi ja puu ovat vanhimpia sillanrakennusmateriaaleja. Ainoa todella pitkäikäinen materiaali on kivi. Käytössä olevista silloista vanhimmat ovat kivisillat. Kuvan 11. mukainen holvisilta on historiallinen siltatyyppi. Käytössä olevia kivistä valmistettuja holvisilloja on yleisillä teillä edelleen lähes 200 kappaletta. Staattisesti kokonaan puristettu holvirakenne kestää, kunhan perustukset eivät vaurioidu. Aina huomioon otettava seikka on kivisillan museoarvo. (Sillantarkastusohje 2004, 21.)



Kuva 11. Kiviholvisilta Aunessilta, Tampere, H-389. (Sillantarkastusohje 2004, 21).

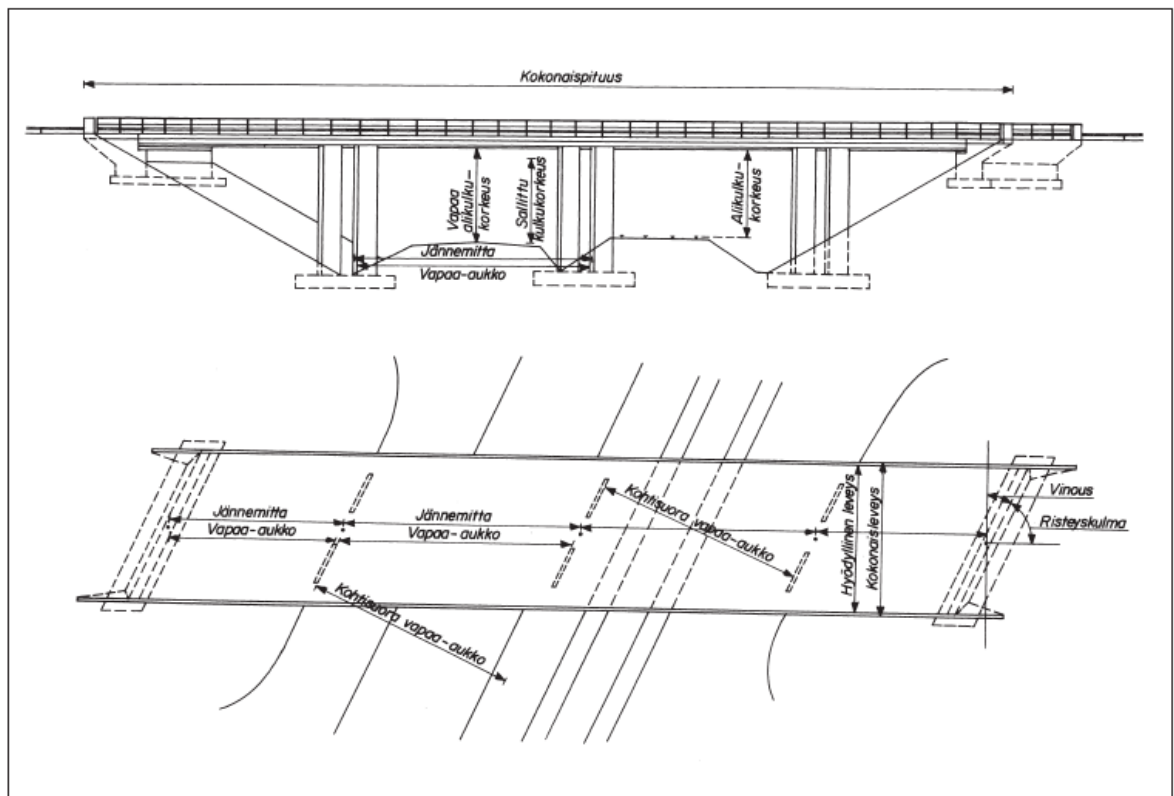
#### 4.2 Siltojen tärkeitä mittoja ja käsitteitä

- **Risteyssilta** on kahden tien eritasoristeykseen rakennettu, ylijohdalla tiellä sijaitseva silta. (RIL-179 2018, 39).
- **Rumpu** on siltamainen tai putkimainen rakenne, joka on vapaa-aukoltaan alle 2,00 metriä. (RIL-179 2018, 40).
- **Tiesilta** on yleisnimi sillalle, jota kuormittaa tieliikenne. (RIL-179 2018, 40).
- **Työsilta** on väliaikainen työmaaliikenteelle tarkoitettu silta, joka rakennetaan yleensä vesistösillan rakentamisen yhteydessä. (RIL-179 2018, 40).
- **Varasilta** on väliaikainen ajoneuvoliikenteelle tarkoitettu silta. (RIL-179 2018, 40).
- **Vesistösilta** on vesistön ylittämiseksi rakennettu tiesilta. (RIL-179 2018, 40).



- **Ylikulkusilta** on rautatien tai raitiotien yli rakennetulla tiellä sijaitseva silta. (RIL-179 2018, 40).
- **Hyödyllinen leveys (HL)** on sillan kaiteiden välinen pienin etäisyys. Tiesillan hyödyllinen leveys määräytyy tien leveydestä ja on pääsääntöisesti tien leveys +0,5 m (RIL-179 2018, 40).
- **Jännemitta (JM)** on sillan keskilinjaa pitkin mitattu kahden peräkkäisen tukilinjan välinen etäisyys. (RIL-179 2018, 40).
- **Sillan kokonaispituus (L)** on siipimuurien tai niitä vastaavien rakenteiden äärimmäisten päiden välinen suurin etäisyys mitattuna sillan reunalinjaa pitkin. (RIL-179 2018, 40).
- **Sillan kokonaisleveys (B)** on sillan päällysrakenteen kantavan rakenteen ulkoreunojen etäisyys mitattuna sillan keskilinjaa vastaan kohtisuorassa suunnassa. (RIL-179 2018, 40).

Sillan mittoja on havainnollistettu hyvin Kuvassa 12. Sivulla 39 olevassa Kuvassa 13. esitetään sillan alapuoliset rakenteet ja siltapaikan rakenneosat.



Kuva 12. Sillan aukko- ja leveysmitat. (Sillantarkastusohje 2004, 23).

### **4.3 Sillan pää rakenneosat**

#### **Päällysrakenne**

Päällysrakenne kantaa sillalla kulkevan liikenteen kuormat ylitettävän esteen tai alta kulkevan väylän yli, se on sillan tärkein rakenneosat. Päällysrakenne siirtää sillan hyötykuormat ja rakenteen omapainon alusrakenteelle. Päällysrakennetta ovat kuormat kantava pääkannatin, tiesilloissa pintarakenteet, joihin kuuluvat vedeneristys ja päällyste ja rautatiesiltojen pintarakenteena päällyskiskot, ratapölkkyt ja tukikerros. (RIL-179 2018, 44.)

#### **Alusrakenne**

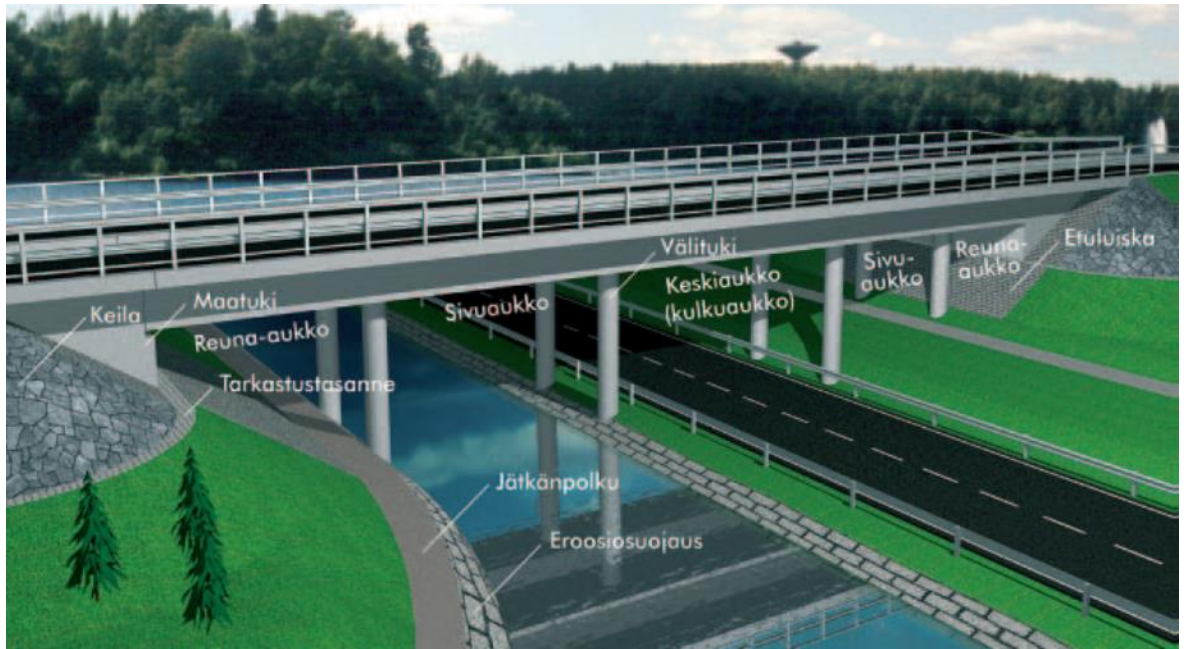
Alusrakenteen tehtävä on siirtää päällysrakenteen kuormat kantaviin maakerrokseen tai kallioon. Sillan alusrakenteeseen kuuluvat perustukset ja niihin liittyvät paalut, tukiseinät ja muurit. Alusrakenteeseen kuuluvat myös tukimuureineen ja siirtymälaattoineen sillan maatuot, jonka tyyppi on esitetty Kuvassa 14. (RIL-179 2018, 44.)

#### **Varusteet ja laitteet**

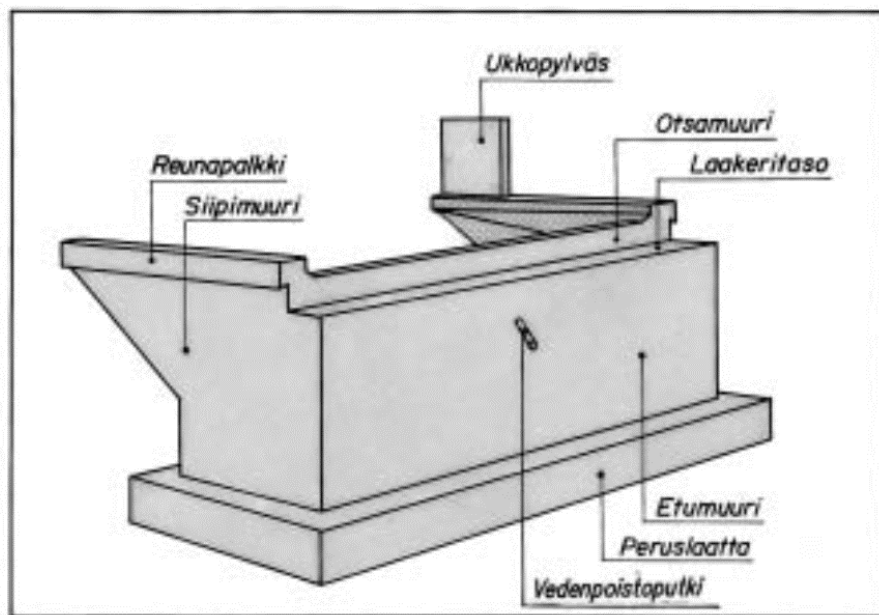
Sillan varusteisiin ja laitteisiin kuuluvat rakenteet, joita tarvitaan sillan toiminnan, turvallisuuden ja elinkaaren varmistamisessa. Näihin lukeutuvat laakerit, liikunta-saumalaitteet, kaiteet, kosketussuojaseinät, valaisimet pylväineen ja hoitosillat yms. (RIL-179 2018, 45.)

#### **Siltapaikan rakenteet**

Siltapaikan rakenteita ovat siltapaikalla olevat, mutta ei sillalla olevat rakenteet. Ne ovat tarpeen siltapaikan kuivatuksen, turvallisuuden ja pitkäaikaista kestävyyden takia. Tällaisia ovat esimerkiksi luiskat verhoiluineen, sadevesikourut ja kaivot, pengerkaitteet ja portaat. (RIL-179 2018, 45.)



Kuva 13. Sillan rakenneosat. (Sillantarkastusohje 2004, 24).



Kuva 14. Betoninen sillan maatuki. (Sillantarkastusohje 2004, 24).

#### 4.4 Siltoihin kohdistuvat rasitukset

Siltojen vaurioitumista suomessa nopeuttaa erityisesti syys- ja talviolosuhteet sekä niiden vuoksi tehtävä teiden suolaus. Siltoja rasittavat seikat voidaan jakaa ympäristöoloista johtuviin ja käytöstä aiheutuviin rasituksiin. Suunnittelu- ja rakennusvirheet nopeuttavat vaurioitumista. (RIL-179 2018, 392.)

## **Ympäristöstä johtuvat rasitukset**

Sillat ovat ympärivuoden alttiina säärasituksille. Etenkin tiettyihin osiin sillasta kohdistuu voimakas ympäristörasitus, joista merkittävimmät ovat:

- talvisuolauksen aiheuttama kloridirasitus
- muu suolarasitus, kuten esimerkiksi merivesi
- kosteusrasitus, josta pahimpana jatkuva vaihtelu
- lämpötila vaihtelu, josta pahin on jatkuva jäätyminen ja sulaminen eli niin sanottu nollan pinnassa seilaaminen
- hiilidioksidirasitus
- ilmansaasteet
- vesistösilloissa jäiden liikkumisesta ja myös veden virtaamisesta aiheutuva kuluminen sekä kuormitukset erityisesti tukirakenteille.
- Myös auringon paahde nopeuttaa vaurioitumista. (RIL-179 2018, 392.)

## **Käytöstä aiheutuvat rasitukset**

Merkittävimpiä siltojen käytöstä ja kunnossapidosta aiheutuvia rasituksia ovat:

- liikenteen kuormituksesta aiheutuva (erityisesti nykyiset 76 tonnin rekat)
- liikenteestä aiheutuva kuluminen
- törmäykset
- tienhoidosta ja kunnossapidosta johtuva kuluminen ja törmäykset
- puutteellisesta kunnossapidosta johtuvat vauriot
- ilkivalta, kuten sinkitysten tai maalien lohkeaminen teräsrakenteista tai pinnoitteiden lohkeaminen betonirakenteista sekä maali töherrykset. (RIL-179 2018, 392-393.)

## **Suunnittelu- ja rakennusvirheistä johtuvat vauriot**

Suunnittelun ja rakentamisen aikana tehdyt virheet paitsi aiheuttavat vaurioitumista, myös nopeuttavat ympäristörasitusten vaikutuksia. Yleisiä suunnittelu- ja rakentamisvaiheen virheitä ovat

- detaljiratkaisuissa olevat virheet, kuten esim. väärin sijoitettu tippuputki tai pintavesikaivo
- virheelliset materiaalivalinnat
- menetelmä/työvirheet, kuten esim. liian pienet terästen suojaetäisyydet tai epäonnistumiset betonin valussa
- elementtivalmistuksen virheet. (RIL-179 2018, 393.)

## **4.5 Siltojen betonirakenteiden yleisimmät vauriot**

Teräsbetonirakenteiden vauriot voidaan jakaa betonin vaurioihin ja raudoituksen korroosioon.

### **Betonin vauriot aiheutuvat**

- fysikaalisesta rasituksesta, kuten jäätymis- sulamisrasitus, lämpötila muutoksien aiheuttamista halkeamista, kosteusliikkeistä, kloridi rapautumisesta tai eroosioista
- mekaanisista kuormista, kuten törmäykset, ylikuormat, perustusten painumisesta johtuvat liikkeet tai räjähdys
- kemiallinen tai biologinen ympäristörasitus.

### **Raudoituksen korroosiota aiheuttavat:**

- liian ohut betonipeite
- betonin karbonatisoituminen, eli alkaalisuuden väheneminen ilman hiilidioksidin vaikutuksesta, jolloin betonin suoja raudoituksen korroosiolle katoaa

- suojaavaan betonikerrokseen päätyneet korroosioita aiheuttavat saasteet kuten kloridit
- sähköiset hajavirrat, joita on johtunut tai indusoinut raudoitukseen läheisistä virtalähteistä. Lähinnä ratasilloissa. (RIL-179 2018, 394.)

#### 4.5.1 Betonin pakkasrapautuminen

Pakkasrapautuminen heikentää erityisesti betonin vetolujuutta ja raudoituksen tartuntalujuutta. Pakkasrapautumisen kannalta pahimmat olosuhteet ovat jatkuvasti 0 °C molemmiin puolin sahaava lämpötila, jolloin betoni on koko ajan märkä ja jäätyy ja sulaa yhä uudelleen. Tämä ongelma tulee lisääntymään ilmastomuutoksen seurauksena. Rapautumista pahentaa suolauksesta aiheutuva kloridirasitus.

Pakkasrapautumisen syntymistä pyritään estämään betonin suojahuokostuksella, eli lisäämällä ilmaa hallittu määrä (3-8%) betonimassaan sekoitusvaiheessa erilaisten lisäaineiden avulla. Tämä mahdollistaa veden jäätymisestä aiheutuvan noin 9 % laajentumisen tapahtumisen betonissa, ilman että betoni halkeilee ja rapautuu. Suojahuokostusta on alettu käyttää betoneissa 1970-luvun lopulla, se yleistyi 1980-luvulla, mutta vasta 1990-luvulla se otettiin käyttöön siltabetoneissa P-lukumenetel-lyllä. Myös alhainen vesisideainesusuhde ja betonin korkea lujuus parantavat betonin pakkaskestävyyttä. Viime vuosina silloissakin havaitut lujuus ongelmat ovat olleet juuri näiden P-lukubetoneiden ja niissä käytettävien lisäaineiden ja liialliseksi kasvaneiden ilmamäärien seurausta. P-lukubetonin kanssa työskentely vaatii sekä betonitoimittajalta että betonoinnin suorittajalta huippuosaamista. (RIL-179 2018, 395.)

Ongelmallisimpia rakenneosia pakkasrapautuman osalta ovat etenkin reunapalkit, suolattavan tien ylittävien teiden pilarit, vuotavien saumojen vuotoalueella olevat rakenteet kuten laakeritasot tai etumuurit. Erittäin ongelmallista tämä on vuotavien vesieristeiden vuoksi kansilaatan yläpinnassa. Rapautuminen tapahtuu täysin pii- lossa päällysrakenteiden alla, jolloin sen havaitseminen onnistuu ainoastaan raken- teita avaamalla. Edettyään pitkälle rapautuminen aiheuttaa kannen yläpinnassa lu- juuskadon, tämän seurauksena kansilaatan tehollinen korkeus  $d$  pienenee. Sen

seurauksena tapahtuu myös sillan tukialueella yläpinnan raudoituksien ankkuroinnin heikkenemistä. (RIL-179 2018, 395.)

#### **4.5.2 Alkalikiviainesreaktio AKR**

Alkalikiviainesreaktio on tietyissä kiviaineksissa tapahtuva kemiallinen reaktio, jonka seurauksena betoni rapautuu hyvin samannäköisesti kuin pakkasrapautumisen seurauksena. Merkittävimpänä erona pakkasrapautumiseen verrattuna on se, että alkalikiviainesreaktio tapahtuu betonin massiivisissa osissa eikä ainoastaan pinnassa heikentäen betonin vetolujuutta ja raudoitteiden ankkurointia koko rakenteessa. Alkalikiviainesreaktiota ei ole aiemmin havaittu suomen kiviaineksessa, mutta nykyisin on havaittu, että myös suomalainen kiviaines reagoi korkeassa kosteus- ja alkalipitoisuudessa. Reaktioita edistää suomalaisen Portland-sementin varsin korkea alkalisuus ja runsas käyttö vanhoissa rakenteissa. Reaktio on erittäin hidas kylmästä ilmastosta ja rakenteissa aika ajoin tapahtuvasta kuivumisesta johtuen, mutta ongelma tulee todennäköisesti lisääntymään ilmastomuutoksen seurauksena. (RIL-179 2018, 396.)

#### **4.5.3 Raudoitteiden vauriot**

Betoniraudoitteen vaurio on korroosio eli kansankielellä ruoste, joka on sähkökemiallinen ilmiö. Se edellyttää riittävää kosteutta, metallin pinnassa olevia epäjatkuvuuskohtia eli anodi- ja katodialueita, joista molemmilla alueilla korroosioreaktiot voivat tapahtua samanaikaisesti. Yhdenkin edellytyksen poistamalla korroosioita ei tapahdu. Silloissa ja yleensäkin ulkona sijaitsevilla rakenteilla on riittävästi kosteutta korroosion tapahtumiseksi, jolloin suojaustoiminta on suunnattava anodi- ja katodialueille. Uudessa betonirakenteessa betonin emäksisyyden raudoitukseen aiheuttama passivointi estää terästen ruostumisen. Ilmassa olevan hiilidioksidin vaikutuksesta betoni menettää hiljalleen emäksisyytensä eli karbonatisoituu. Karbonatisoitumista nopeuttaa halkeilu ja betonin huono tiiviys. Pieni suojaetäisyys teräksillä nopeuttaa terästen ruostumista, koska karbonatisoitumissyvyys on suoraan verran-

nollinen aikaan. Betonipeitettä kasvattamalla saadaan aikaa jatkettua. Korroosio aiheuttaa teräksen paisumisen ja edettyään riittävän pitkälle se lohkaisee betonipeitteen. Siltabetonit ovat yleisesti ottaen hyvälaatuisia ja alhaisen vesisementtisuhteen massoja, jolloin myös karbonatisoituminen on varsin hidasta. (RIL-179 2018, 396-397.)

Myös kloridit voivat käynnistää korroosion tunkeutuessaan raudoituksen syvyyteen asti betonissa. Kloridit rikkovat betonin emäksisyydellä aikaan saadun raudoituksen passivoinnin ja korroosio pääsee käynnistymään välittömästi, vaikka karbonatisoitumista ei olisi tapahtunut. Kloridien aiheuttamalle korroosiolle erityisen alttiina ovat suolattujen teiden siltojen reunapalkit ja roiskealueella olevat väli- ja maatuet. Vuotava kannen vesieristys aiheuttaa myös kansilaatan yläpinnan teräksissä kloridikorroosiota. Samoin vuotavat liikuntasaumot päästävät klorideja sisältävän veden vuotamaan kannen päädyn ja maatuen väliin ja aiheuttavat niillä alueilla kloridikorroosioaurioita. (RIL-179 2018, 397.)

#### **4.6 Siltojen rakenneosien yleisimmät vauriot**

Betonirakenteisissa silloissa on useita ei-betonisia rakenneosia, joilla kaikilla on omansalaisensa vaurioitumismekanismit. Edellisessä kappaleessa käsitellyt vauriot kattavat kaikki betonirakenteiden mekanismit, mutta tässä vielä hieman muista rakenneosista.

##### **4.6.1 Vedeneristykset**

Vedeneristyksen toiminnalla ja ehjyydellä on koko sillan kestävyys ja säilyvyyden kannalta erittäin suuri merkitys. Vuotava vedeneristys mahdollistaa kansilaatan yläpinnan vaurioitumisen alkamisen. Runsaasti suolatuilla teillä vaurio saattaa nopeasti pahaksi ennen kuin se vuositarkistuksissa huomataan. Vesieristeiden vaurioita ovat kermieristeen kupliminen, mastiksieristuksen halkeilu ja irtoaminen sekä nestemäisten eristeiden irtoaminen eristysalustastaan. (RIL-179 2018, 402.)



#### **4.6.2 Päällyste**

Päällysteiden yleisimmät vauriot ovat päädyissä olevat halkeamat ja purkautumat, verkkohalkeilu, kulumisurat ja muodonmuutokset eli deformaatiot. Lumettomat ja märät talvet, nastarenkaat ja nollan molemmin puolin sahaava lämpötila tuhoaa myös asfalttia nopeasti. Ilmastonmuutos varmasti tulee pahentamaan tätäkin ilmiötä. (RIL-179 2018, 402.)

#### **4.6.3 Kaiteet**

Kaiteita rasittaa suuresti teiden suolaus ja auraus. Ennen 1970-lukua rakennettujen siltojen kaidemateriaalina on käytetty maalattua terästä, jonka kestävyys perustuu maalauksen uusimiseen, mutta uusintamaalauksia ei monestikaan ole tehty. Huoltomaalaus on monesti jätetty tekemättä siihen vedoten, että kaiteet on väärän kaidetyypinkin puolesta vaihdettava lähiaikoina. Kaiteiden yleisimpiä vaurioita ovatkin korroosio, pylväiden juurivalujen vaurioituminen, törmäysvauriot ja toiminnalliset puutteet kuten väärä kaidetyyppi, liian matala tai lyhyt kaide. (RIL-179 2018, 402.)

#### **4.6.4 Laakerit**

Sillan laakereiden vaurioita ovat teräslaakereiden ruostuminen, asentovirheet, kumilaakerien halkeamat ja muodonmuutokset, suunnitteluvirheen seurauksena väärän laakerityypin valinnasta johtuvat vauriot ja asennusvirheistä johtuvat virheasennot ja huollon laiminlyönti. (RIL-179 2018, 402.)

#### 4.6.5 Liikuntasaumat

Liikuntasaumojen tyypillisiä vaurioita ovat vesivuodot, joista aiheutuu ylimääräistä rasitusta alapuolisille rakenteille. Erityisen ongelmallisia ovat suolatuilla teillä jännitetyjen siltojen ankkureiden alueelle kohdistuva kosteus ja suolarasitus. Myös sillan laakereihin saattaa vuodon seurauksena kohdistua vesi ja suolarasitusta. (RIL-179 2018, 402.) Viallinen liikuntasauma on myös yleensä sillan yli ajattaessa havaittavissa tavanomaista suurempana epätasaisuutena liikuntasauman kohdalla.

#### 4.6.6 Kuivatuslaitteet

Tukkeutunut, ruostunut tai väärin toimiva kuivatuslaite voi aiheuttaa suuriakin seurannaisvaikutuksia sen alla tai lähellä oleville rakenteille. Väärin sijoitettu kuivatuslaite voi aiheuttaa turvallisuusriskin, kuten esimerkiksi virheellisesti alla kulkevan ajoradan kohdalle asennettu tippuputki, josta voi talvella pudota jääpuikko liikenteen päälle. Tai jos alla kulkee sähköistetty rata, jonka jännitteisiin johtimiin jääpuikko voi osua. (RIL-179 2018, 403.)

Tukkeutuneet tippuputket ja pintavesikaivot aiheuttavat ylimääräistä rasitusta sillan vesieristeille ja päällysteelle, kun vesi jää makaamaan kannelle ja voi talvella jäätyessään rikkoa niiden rakenteita. Vanhoissa silloissa tippuputket ja pintavesikaivot on valmistettu ruostuvasta teräseoksesta, mutta uudemmissa noin 1970-luvun lopulta alkaen rakennetuissa silloissa on käytetty haponkestävää materiaalia ja niissä putkien ongelmat johtuvat lähinnä niiden tukkeutumisesta roskasta.

## 5 SILLAN PINTARAKENTEIDEN PURKU

Esimerkkinä käytetään muutamaa kohdetta, joissa opinnäytetyön tekijä on ollut mukana sillan remontissa. Näissä kohteissa uusittiin myös reunapalkit, vaikka se ei aina sillan pintarakenneremonttiin sisällykään.

### 5.1 Ennen työmaan aloitusta suoritettavat tehtävät

Urakoitsijan tulee aina laatia työmaasta työmaan alue- ja liikennejärjestelysuunnitelma, josta käy ilmi, miten liikenne huomioidaan ja ohjataan työmaa-alueella. Lisäksi tulee olla tehtynä työturvallisuussuunnitelma. Ennen jokaista työvaihetta tulee olla tehtynä ja tilaajalle toimitettuna ko. työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma. Liikennejärjestelyjen suunnitteluun löytyy Väylän ja ELY-keskusten verkkosivuilta valmiita esimerkkejä, suunnitelman pohjia ja ohjeistusta aiheesta.

Lisäksi tulee tehdä

- ilmoitus liikennettä häiritsevistä töistä alueen liikennekeskukseen vähintään 2 vrk ennen työmaan aloittamista
- rakennustyön ennakkoilmoitus alueen ELY-keskukseen ennen työn aloittamista
- lisäksi niistä kohteista, joilla voi olla vaikutusta erikoiskuljetuksille (muut kuin tiemerkintä- ja päällystystyöt), lomake toimitetaan myös erikoiskuljetukset@ely-keskus.fi / faksi 0206 02 6301
- kaapeliselvitys työmaa-alueen sähkö-, tietoliikenne- ja valaistuskaapeleista kannattaa tehdä jo heti työmaan perustusvaiheessa. Jos ei selvitetä tässä vaiheessa, niin on vaarana, että rikotaan lähellä pintaa kulkevat kaapelit jo asennettaessa työmaan liikennemerkkejä ja toisaalta jos joudutaan ryhtymään kaapelien siirtoon voivat esim. työmaakopit olla siirrettävien kaapeleiden päällä ja niitä joudutaan turhaan siirtämään. Jos kaapeleita kulkee korjattavassa sillassa ja ne joudutaan siirtämään korjaustyön ajaksi pois tieltä,

niin siirto kannattaa laittaa aluilleen heti, johtuen jopa useamman kuukauden odotusajasta siirrolle, jos kyseessä esim. tärkeitä tietoliikenne kaapeleita

- työmaasähköliittymän tilaus hyvissä ajoin, mikäli liittymä tarvitaan eikä käytetä aggregaattia
- työmaataulut Väylän ohjeistuksen mukaan. (LIVI/305/06.02.00/2017.)
- ennen jokaista työvaihetta työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma kyseisestä työvaiheesta.

Työmaakoppien ja varastoalueen sijoitus kannattaa pyrkiä valitsemaan mahdollisuuksien mukaan siten, että niitä ei jouduta siirtämään turhaan kesken työmaan.

Työmaan rajaaminen liikenteeltä onnistuu kätevästi Mini Guard -elementtikaiteilla, jotka suojaavat tehokkaasti mahdollisessa törmäystilanteessa viemättä kuitenkaan valtavasti tilaa työskentelyalueelta. Käytännössä liikenteen ohjaaminen hoidetaan lähes aina liikennevalo-ohjauksella. Jos kyseessä on erittäin vähäisen liikenteen tieosuus ja hyvä näkyvyys vastaan tulevaan liikenteeseen nähden, voidaan käyttää pelkkää väistövelvollisuus kohdatessa -kylttiä ohjauksessa. Yleensä aina ohjaus hoidetaan liikennevaloilla.

Sulkuaitojen taakse asennetaan >80 km/h nopeusrajoitusalueella hyväksytty rengashidaste tai sorakasa törmäyshidasteeksi suojaamaan työmaa-aluetta saapuvan liikenteen puolelle.

Mikäli työmaakopit ja varastoalue on sijoitettu tien luiskaan, on ne hyvä erottaa aidalla liikenteestä, ettei kopista poistuttaessa vahingossa kävellä liikenteen alle. Yleensä työmaakopit pyritään sijoittamaan työskenneltävälle puolella tietä, jolloin tätä vaaraa ei niinkään ole. Vaikka nopeusrajoitus työmaan kohdassa onkin enintään 30 km/h tai 50 km/h, kokemuksesta voin todeta, että autoilijat ajavat lähes aina reilusti kovempaa.

Jokaisella työmaalla työskentelevillä tulee olla voimassa olevat Työturvallisuus- ja Tieturva 1 -kortit. Lisäksi pitää olla työmaaperehdytys käytynä sekä hyväksytty SFS-EN 471:n mukainen suojavaatetus, turvajalkineet, suojakäsineet, kypärä, suojalasit,

kuulonsuojaimet ja näkyvillä oleva kuvallinen henkilökortti sekä suomalainen veronumero.

## 5.2 Työmaan aloitus ja liikennejärjestelyt

Liikennejärjestelyitä tehdessä pitää olla erityisen varovainen, koska joudutaan toimimaan täysin liikenteen seassa. Käytettävät liikennemerkkit tulee olla virallisia SFS-EN 12899-1 -standardin mukaisia merkkejä.

Tietyömaiden ja muiden tilapäisten liikenteen ohjaustilanteiden liikennemerkkienkalvotyyppinä käytetään toimintaympäristöluokissa S3 ja S2 päiväloistekalvoa (heijastusluokka R3 tai R2). Toimintaympäristöluokassa S1 voidaan käyttää päiväloistekalvoa tai tavallista R1-luokan heijastavaa kalvoa. Toimintaympäristöluokat ovat ohjeen "Liikenne tietyömailla, Sulku- ja varoituslaitteet" TIEH 2200051-09 mukaiset. (Liikennemerkkien rakenne ja pystytys 2013, 10.)

Tilapäisissä liikennemerkeissä (vakiomerkit ja opastusmerkit) käytettävän keltaisen päiväloistekalvon tulee vastata värisävyiltään tavallisia liikennemerkkikalvoja. Vihertävän sävyistä (keltavihreää ns. lime- väri) päiväloistekalvoa ei käytetä liikennemerkeissä. Sen sijaan sulku- ja varoituslaitteissa käytetään vihertävän sävyistä (Limesävy) päiväloistekalvoa. (Liikennemerkkien rakenne ja pystytys 2013, 10.)

Yhdellä tietyömaalla tai muussa tilapäisessä liikenteen ohjauksen kohteessa tulee kaikissa saman merkkiryhmän merkeissä käyttää yhtenäisesti samaa kalvotyyppiä. Omia merkkiryhmiään ovat a) vakioliikenne-merkit b) opastusmerkit ja c) sulku- ja varoituslaitteet. Käynnistettäessä uutta työmaata tai lisättäessä työmaalle merkkejä, tulee käyttöönotettavien merkkien päiväloisteominaisuudet tarkistaa silmämääräisesti. (Liikennemerkkien rakenne ja pystytys 2013, 10.)

## 5.3 Toimet ennen purkutyön aloittamista

Ennen pintarakenteiden purkamisen aloittamista kartoitetaan kannen ja reunapalkin muoto ja korkeusasema, joista tärkeimpinä reunapalkin korko, TSV: n korkeus ja sijainti sekä kannen kallistukset. Lisäksi tehdään vaadittavat suojaustoimet mahdollisten ajoradalle lentelevien kappaleiden vuoksi. On myös otettava huomioon sillan alle /vierelle mahdollisesti sinkoilevat kappaleet.

## 5.4 Asfaltin purku

Aluksi työalue rajataan sahaamalla asfaltti ja sen alla sijaitseva suojabetoni halki poistettavan osan ja tässä vaiheessa säilytettävän kaistan rajapinnasta. On otettava huomioon eristyksen limityksen vaatima tilan tarve ja että käyttöön jäävä ajorata on vaaditun levyinen, vaatimus on yleensä vähintään 3,5 m. Eristyksen limitykselle riittää yleensä noin 300 mm tila, mutta suositeltua on varata 500 mm tilaa, mikäli mahdollista. Myös sillan päissä purkualue kannattaa rajata leikkaamalla asfaltti timanttisahalla pituus suunnassa poikki. Päätyihin kannattaa avata kerralla riittävän iso työtila, noin 5 m on yleensä riittävä, mutta aina vähintään 1 m pidemmälle kuin siipimuurit ulottuvat. Päätyä ei voida vielä tässä vaiheessa avata riittävän syvältä, koska sillalle on päästävä ajamaan koneilla, mutta asfaltin purku kannattaa tehdä, niin saadaan kaikki asfalttijäte pois työmaalta kerralla.

Sillan kannen asfaltin poisto tehdään kätevimmin kaivinkoneella Kuvan 15. mukaisesti. Riittävän iso kaivinkone vähintään 14 t varustettuna terävällä kauhan huulilevyllä on toimivin kone asfaltin poistoon kannelta. Poistotyö on huomattavasti helpompaa lämpimällä ja aurinkoisella säällä, jolloin bitumi on pehmeämpää ja asfaltti irtaantuu huomattavasti helpommin. Kaivinkoneella paloina purettuna asfaltti ei ole asfalttiasemille kierrätyskelpoista, koska sisältää myös vedeneristeen ja suojabetonin jätettä. (SILKO 2.814 2019.)

Poisto voidaan tehdä myös kylmäjyrsintänä suoraan auton lavalle. Tämä tapa on asfalttijätteen jatkokäsittelyn kannalta paras, koska jäte on valmiiksi sopivan kokoinen murskana ja voidaan sellaisenaan toimittaa kierrätykseen. Kustannuksiltaan jyrsintä on kalliimpi ja toisaalta joudutaan tuomaan työmaalle useita erilaisia koneita verrattuna kaivinkoneella tehtävään purkuun. (SILKO 2.814 2019.)

Asfalttijäte on ongelmajätettä, joten se tulee toimittaa asianmukaiselle taholle jatkokäsittelyyn. Jätteestä on aina täytettävä jätteesiirtoasiakirja. (L 17.6.2011/646, 121 §.)



Kuva 15. Asfaltin purku kaivinkoneella.

## 5.5 Suojabetonin purku

Vanhoilla noin ennen vuotta 1960 rakennetuilla silloilla on kannen suojana käytetyn suojabetonin alla vesieristyskangas ja PAH-yhdisteitä sekä kreosootia sisältävää kivihiilipikettä. Kivihiilipiketti on tumman väristä, ja siinä on voimakas pistävä haju (kyllästetyn puun, ratapölkyn kreosootin haju). (Ratu 82-0381) Se on luokiteltu vaaralliseksi jätteeksi ja purkutyö tehdään PAH-työnä (Ratu 82-0381) kortin mukaan. Uudemmissa silloissa on yleensä käytetty bitumieristystä, joka on myös ongelmajätettä, mutta voidaan purkaa normaali purkuna koska sen PAH pitoisuudet ovat huomattavasti matalammat.

Suojabetoni on yleensä noin 50-100 mm paksu ja ohuella 4-5 mm sileällä teräsverkolla keskeisesti raudoitettu. Sen purku onnistuu myös yleensä kaivinkoneen kauhan terävällä huulilevyllä tai routapiikillä repimällä Kuvan 16. mukaisesti. Jos betoni on todella lujaa, voidaan purkamista helpottaa sahaamalla suojabetoni pienempiin osiin timanttisahalla tai käyttämällä purkamisessa kaivinkoneeseen asennettavaa



Rammer-iskuvasaraa, jolla voidaan varovasti naputella suojabetoni hajalle ja irti kannesta. Rammeria käytettäessä tulee kuitenkin huolehtia, ettei vahingoiteta suojabetonin alla sijaitsevaa sillan varsinaista kansilaattaa. Purun aikana on varmistettava, ettei betonin ja raudoituksen kappaleita pääse lentämään ohi kulkevan liikenteen ajoradalle. Suojabetoni ja siinä kiinni oleva vesieriste ovat ongelmajätettä ja vaativat näin ollen toimittamisen jatkokäsittelyyn asianmukaiselle taholle, lisäksi kuormista tulee laatia jätteensiirtoasiakirjat. (L 17.6.2011/646, 121 §).



Kuva 16. Suojabetonin purku kaivinkoneella vaatii riittävän ison koneen ja terävän huulilevyn.



## **5.6 Sillankaiteen ja reunapalkin purku**

Reunapalkin uusimiseen johtaa yleensä reunapalkin pitkälle edennyt pakkas- ja kloridirapautuminen sekä terästen korroosio. Joskus myös vanhat kaidetolpat, joiden ontto pystyputki on valettu reunapalkin sisään halkaisevat ajan kanssa palkin betonia, kun vesi jäätyy ja laajenee putken sisällä. Myös turvallisuuden vaarantuminen kaidepylväiden heikon kiinnityksen takia tai ulkonäköseikat saattavat johtaa reunapalkin uusimiseen. Joka tapauksessa uusiminen tulee eteen, kun reunapalkin kunto on todettu huonoksi erikoistarkastuksessa tai siltaan ollaan tekemässä pintarakenneremonttia, jolloin reunapalkin uusiminen kannattaa tehdä samalla, vaikka kunto olisikin vielä kuntoluokassa 3 eli tyydyttävässä kunnossa. Kaiteet uusitaan aina samalla kertaa. (SILKO 2.211 2008, 1.)

### **5.6.1 Kaiteen purku**

Sillankaide kannattaa purkaa vasta juuri ennen reunapalkin purkua, jolloin vanha kaide toimii mahdollisimman pitkään putoamissuojana. Kaidetyypistä riippumatta purku tehdään helpoiten katkaisemalla kaide aluksi pituussuunnassa helposti kuljettavan kokoihin esim. 4 m pituisiin paloihin, jonka jälkeen kiinnitetään pala kerrallaan nostoketjut kiinni ja katkaistaan kulmahiomakoneella kaidetolpat nosturiin kiinnitetyltä osalta ja nostetaan irrotettu kaiteen pätkä pois. Kaide on yleensä aina väännätyksissä jonnekin päin ja katkaistaessa täytyy varoa jännitysten vapautumisesta johtuvia liikkeitä. Yleensä kulmahiomakoneen laikka on nopeasti paloina jäädessä puristuksiin juuri leikattuun väliin. Kaiteen purun jälkeen joudutaan asentamaan työnaikaiset kaiteet. Holvinreunakaide on toimiva tähänkin paikkaan.

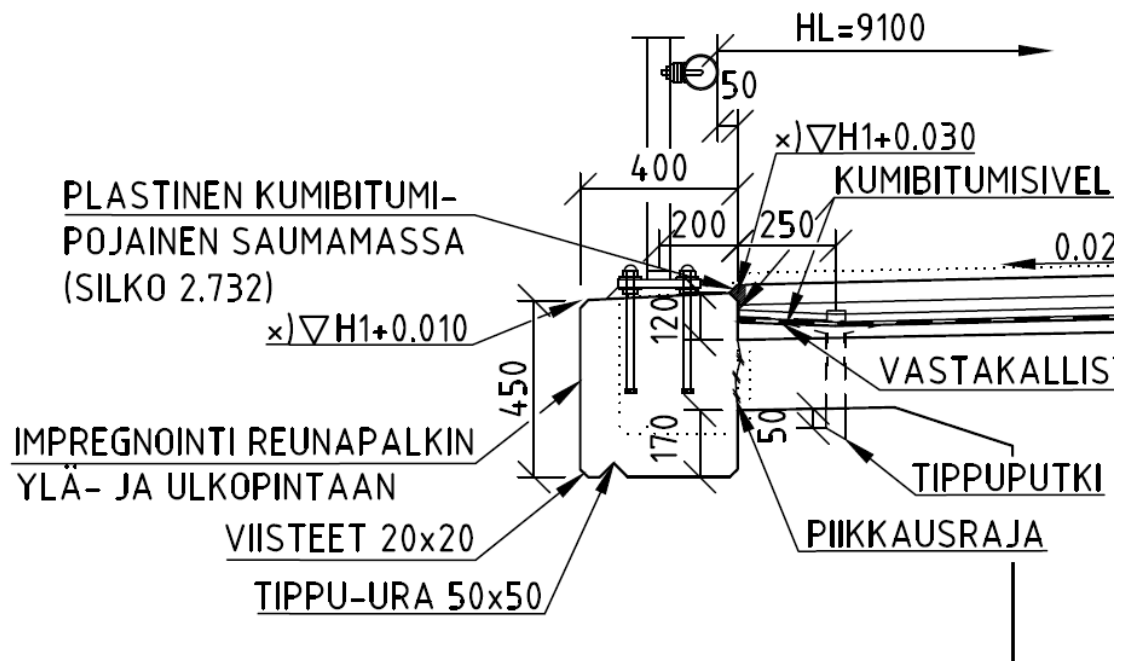
### **5.6.2 Reunapalkin purku**

Reunapalkin purku voidaan suorittaa joko mekaanisesti piikkaamalla, timanttisauhauksella tai vesipiikkauksella. Suositelluin purkumenetelmä on lähes poikkeuksetta vesipiikkaus. Purkumenetelmän valintaan vaikuttavat ainakin seuraavat seikat:

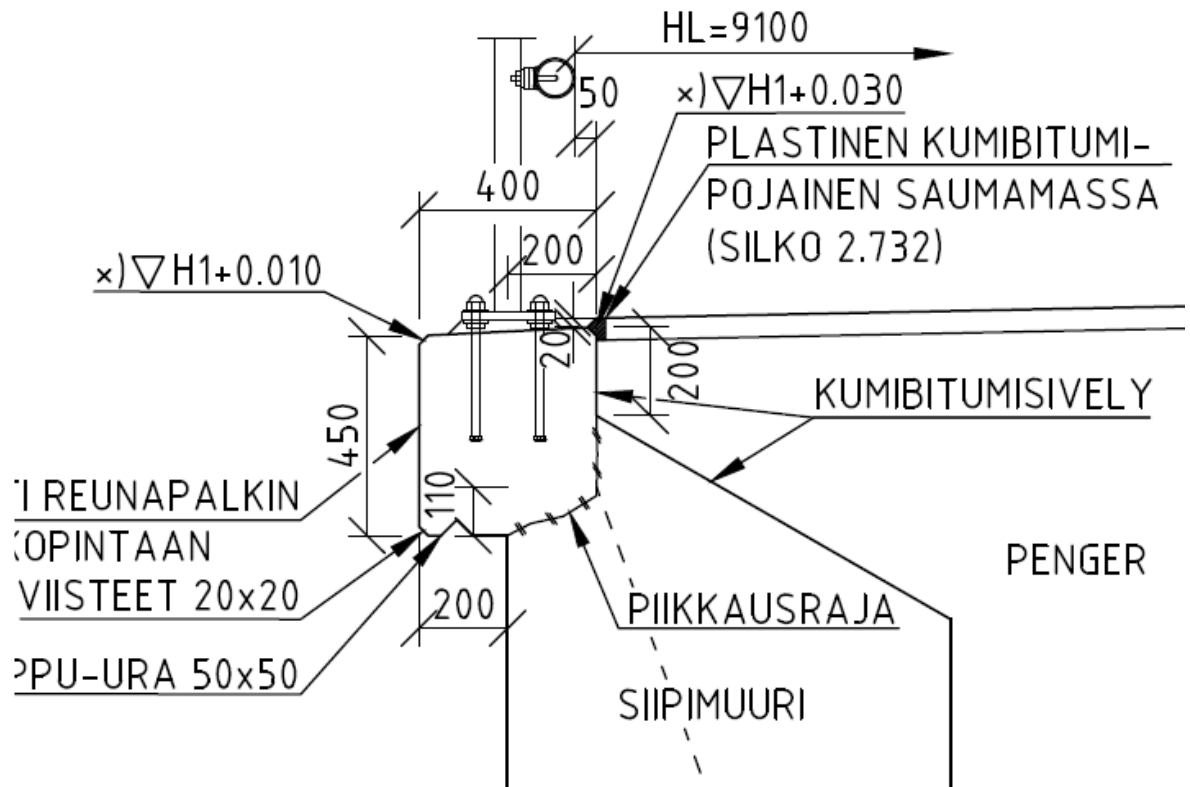
- onko tarkoitus purkaa koko palkki vai ainoastaan muutamia kymmeniä millejä pinnasta? Jos kyseessä palkin osittainen purku, niin suositeltu tapa on vesipiikkaus. Tällä varmistetaan hyvä tartunta betonin pintaan eikä vahingoiteta reunapalkin teräksiä
- mitä on esitetty suunnitelmassa
- jos palkin teräksistä kaikki tai osa on tarkoitus säästää ehjänä uuteen rakenteeseen, on vesipiikkaus ainut vartenotettava vaihtoehto
- onko kyseessä toisen tien ylittävä ylikulkusilta? Joudutaan suojaamaan lentoteleviltä kappaleilta ja vedeltä.
- jos kaikki reunapalkin ja kannesta reunapalkkiin tulevat teräkset voidaan poistaa, on yleensä helpointa purkaa vanha reunapalkki leikkaamalla se timanttisahalla irti kannesta noin 2m pätkinä ja nostamalla palat suoraan nosturilla kuljetusauton lavalle. Normaali kokoisella noin 500mm\*500mm reunapalkilla 2 m pätkät painavat noin 1250 kg
- onko uuden reunapalkin tekemisessä tarvittava teline jo rakennettu reunapalkin alle? Toimii samalla vanhan reunapalkin purkujätteen keruu alustana, mutta vaatii tiettyjä suojaustoimia vesipiikkausta purkumenetelmänä käytettäessä
- veden saanti työmaalle. Vesipiikkauksessa on vaatimuksena puhdas vesi. Vettä kuluu pahimmillaan lähes 16 m<sup>3</sup> tunnissa eli 128 m<sup>3</sup> 8 tunnin työpäivässä. Veden ajosta aiheutuukin monesti yllättävän iso lisäkulu.

Jos purku tehdään piikkaamalla, aluksi on syytä rajata piikkauksen rajapinnat timanttilaikalla. Rajausta ulotetaan vähintään 20 mm syvyyteen betonin pinnasta, mutta varoen kuitenkin vahingoittamasta säilytettäviä teräksiä. Rajauksen tarkoitus on vähentää piikkauksen ryöstöjä eli rakenteen hallitsemattomia lohkeamisia. Rajausta kannattaa tehdä huolellisesti, tällöin uuden ja vanhan rakenteen rajapinnasta saadaan mahdollisimman siisti ja huomaamaton. Riippumatta valitusta purkumenetelmästä joudutaan lopullinen piikkauksen viimeistely ja vanhan

raudoituksen purku kuitenkin aina tekemään käsityönä. Kaikki heikko ja lohjennut betoni on syytä poistaa. Piikkauksessa vääntyneet säilytettävät teräkset taitutetaan suunnitelmien mukaisesti tulevaan rakenteeseen. (SILKO 2.211 2008.) Reunapalkin purkuraja eräällä korjauskohteella, on esitettyä kannen osalla Kuvassa 17. ja siipimuurin osalla Kuvassa 18.



Kuva 17. Reunapalkki ja piikkausraja kannen osalla.



Kuva 18. Reunapalkin piikkausraja siipimuurin osalla.

### 5.6.3 Reunapalkin purku mekaanisesti piikkaamalla

Jos reunapalkin purku suoritetaan mekaanisesti Rammerilla piikkaamalla esim. Kuvan 19. mukaisesti, tulee työssä noudattaa erityistä varovaisuutta, ettei vahingoiteta säilytettäviä rakenteita. Mekaanisella purulla tarkoitetaan timanttisahausta ja piikkausvasaralla piikkausta, joko käsikoneella tai piikkausrobotilla. Menetelmä on toimiva ja kustannustehokas jos koko palkki voidaan poistaa eikä teräksiä tarvitse säästää tai jos purettavaa palkkia on vain muutaman metrin pätkä, eikä työmaalla ole muuten tarvetta vesipiikkaukselle. Monesti vesipiikkauksessa on myös ongelmana veden valuminen ja roiskuminen väärin paikkoihin kuten esim. alla kulkevalle junan radalle tms. Toisaalta mekaanisen piikkauksen jälkeen rajapinnan puhdistus ja viimeistely on työläämpää, että saadaan ehjä ja puhdas tartuntapinta. Mekaanisesti Rammerilla piikkaamalla purettu reunapalkki ja sen jäljiltä oleva ulokkeen reuna esitetty Kuvassa 20.



Kuva 19. Reunapalkin purku mekaanisesti piikkaamalla.



Kuva 20. Mekaanisesti piikattu reuna ennen viimeistelyä.

#### 5.6.4 Vesipiikkausmenetelmänä

"Valikoivaa piikkausta veden voimalla". Vesipiikkaus suoritetaan korkeapaineisen >700 Bar veden avulla. Betoni rikkoontuu voimakkaan vesisuihkun tunkeutuessa betonin huokosiin. Käyttämällä oikeaa painetta pystytään poistamaan ainoastaan heikkolaatuinen ja vaurioitunut betoni. Vesipiikatun betonirakenteen teräkset puhdistuvat samalla ruosteesta ja betonijäämistä. Jäljelle jäävä pinta on rosainen ja siitä on irronnut kaikki heikkolujuuksinen betoni. Rosainen pinta on erittäin hyvä tartunta-alusta uudelle betonivalulle. (Vesipiikkaus, [Viitattu 23.3.2020].)

Korjattaessa betonirakenteita on yleensä tavoitteena poistaa ainoastaan vaurioitunut ja heikkolujuuksinen betoni. Tämä onnistuu vesipiikkaamalla erinomaisesti. Vesipiikkaamalla voidaan purkaa myös esim. reunapalkkeja tai muita kokonaisia rakenteita. Vesipiikkauksen etuja ovat:

- hajottaa ainoastaan heikon rakenteen käytettäessä oikeaa painetta, eli on valikoiva menetelmä
- säästää betoniteräkset ja puhdistaa ne ruosteesta
- vähäinen määrä puhdistusjätettä
- ei pölyä
- piikatun pinnan rosoisuuden vuoksi tartuntapinta on moninkertainen, verrattuna mekaaniseen piikkaukseen
- vähemmän työvaiheita
- ei aiheuta runkoääniä (Vesipiikkaus, [Viitattu 23.3.2020].)

Vesipiikkaus vaatii lähes aina suoja-aitojen ja verkotusten rakentamista piikkauskohteen ympärille ja suuri betonin sotkema vesimäärä, jopa 260 l/min on saatava johdettua jonnekin, niin että se ei aiheuta haittaa. On hyvin mahdollista, että suojauksesta huolimatta pieniä kiviä ja betonin paloja päätyy myös ajoradalle ja mahdollisesti jonkun tuulilasiin aiheuttaen korvausvelvollisuuden. (SILKO 1.203 2002,

17.) ohjeessa vesipiikkauksesta sanotaan näin. Vesipiikkaus voidaan tehdä periaatteessa kahdella tavalla:

1. Työ tehdään ajoneuvoon kiinnitetyllä pyörivällä ja mahdollisesti ohjauskiskon varassa liikkuvalla suuttimella. Menetelmä sopii laajojen pintojen käsittelyyn, kun suihkutussuunta on alaspäin. Piikkauslaitteen voi kiinnittää teräskehikkoon, kiskoihin tai tukevaan puumiin. Näin voidaan piikata myös vinoja- ja pystypintoja.

2. Työ tehdään käsin ohjattavalla taikka telineeseen tai puumiin kiinnitetyllä ruiskutuspistoolilla. Menetelmä sopii päällysrakenteen alapuolisten pintojen käsittelyyn.

Vesipiikkauksen teho riippuu etäisyydestä, suuttimesta, paineesta ja vesimäärästä. Käsissä pidettävissä laitteissa käytettävä paine on 700-2600 Bar, ja vesimäärä vaihtelee 15-70 l/min välillä. Piikkausrobotia käytettäessä paine on 700-1400 Bar ja vesimäärä vaihtelee välillä 150-260 l/min. Piikatut pinnat on huuhdeltava välittömästi, ettei betoniliemi ehdi kuivumaan pintoihin kiinni. (SILKO 1.203 2002, 17.)

Muihin piikkausmenetelmiin verrattuna vesipiikkaus on varsin nopeaa. Ruotsalais-tutkimuksen mukaan vesipiikkauksen työsaavutus oli 7-13 m<sup>2</sup>/h poistettaessa sil-lan kansilaatasta betonia 30 mm:n kerros. Menetelmän nopeuden seurauksena vesipiikkauksen huomattavasti korkeammat kustannukset ainakin osittain kompen-soituvat työajan säästön kautta. Suomessa Kuvan 21. mukaista reunapalkin pur-kua on tehty vesipiikkaamalla 1-3 m/h. (SILKO 1.203 2002, 17.)

Reunapalkin purkunopeus riippuu palkin betonin lujuudesta, kunnosta ja palkin koosta. Kustannukset muodostuvat työryhmän ja laitteiden kustannusten lisäksi työalueen suojaamisesta kuten Kuvissa 22. ja 23. ja vedestä aiheutuvista kuluista. Vettä kuluu suurimmillaan lähes 16 m<sup>3</sup> tunnissa. (SILKO 1.203 2002, 17.)





Kuva 21. Vesipiikkaamalla purettu reunapalkki.





Kuva 22. Vesipiikattu reunapalkki ja purkujätettä täynnä oleva teline.





Kuva 23. Vesipiikkaussuojausta.

## 5.7 Kannen pinnan kunnon tutkiminen ja korjauslaajuuden määrittäminen

Kannen pinnan kunto vaihtelee yleensä kannen eri kohdissa suuresti ja sen vuoksi kunto tulee tutkia ennen suunniteltuja korjaustoimia. Kannen betonista otetaan heikolta ja huonokuntoisimmalta vaikuttavista paikoista tartuntalujuusvetokokeita ja betonin kloridimäärittäviä, joiden pohjalta voidaan suunnitella tarvittavat toimet riittävän lujan tartunta-alustan varmistamiseksi. Vaatimukset ja testauksien lukumäärä on määritetty työselosteessa ja korjaus suunnitelmissa. Kuitenkin aina vähintään kolmesta kohdasta.

Betonin vetolujuus tutkitaan betonirakenteesta irti poratusta näytekappaleesta vetokokeella standardin SFS 5445 (11) mukaisesti. Irti poratun näytekappaleen koko on  $\geq 70$  mm. Koe uusitaan, jos yksittäinen mittaus tulos on  $< 1,5$  N/mm<sup>2</sup>. Uusintakoe tehdään samalle koekappaleelle liimaamalla koekappale murtopinnasta yhtenäiseksi. Raportissa on esitettävä vetolujuuden ja syvyyden lisäksi murtotapa ja syy. (Taitorakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset 2018, 13.)

Betonin kloridi pitoisuuden on oltava alle 0,02 % betonin painosta terästen läheisyydessä ja muualla alle 0,07 %. Lisäksi tutkitaan kannen pinnan muoto, kallistukset ja korkeusasemat. Mikäli kaikki vaatimukset täyttyvät, riittää yleensä kannen puhdistus kaikesta tartuntaa heikentävästä aineksesta.

Näin asiasta todetaan (SILKO 2.240 2007, 4.) ohjeessa.

Vanhan sillan kansilaatan kloridipitoisuus tutkitaan vähintään kolmesta kohdasta. Näyteporaus ulotetaan vähintään 40 mm:n syvyyteen, koska kloridit tunkeutuvat yleensä syvälle ja tutkimuksen tarkoituksena on selvittää piikkausraja. Kloridipitoisuus saa olla normaalisti raudoitetussa rakenteessa betonin painosta 0,07 % happoliukoisena mitattuna; jännitetyssä rakenteessa korkeintaan 0,035 %. Jos piikkaus ulottuu raudoitteeseen asti, piikkausraja on määritettävä siten, että betoniterästankojen ympärille ei saa jäädä betonia, jonka kloridipitoisuus on yli 0,02 %. Raudoitteen betonipeite mitataan jokaiselta alkavalta 10 m<sup>2</sup>:n alueelta, jos betonin kloridipitoisuus on kriittinen raudoituksen syvyydellä.

Samalla tarkistetaan kuivatuslaitteiden kunto ja laitteiden lisäämistarve. Sillan kannen viettokaltevuudet vaaitaan ja selvitetään eristysalustan

muotoilutarve. Viettokaltevuudet määritetään vaaitsemalla poikkileikkaukset kahden metrin välein. (SILKO 2.240 2007, 4.)

### 5.7.1 Eristysalustan kunnostamiseen johtavia syitä

Seuraavassa listauksessa ja Taulukossa 5. on esitetty eristysalustan kunnostamiseen johtavia syitä ja mahdollisia menetelmiä eri tilanteissa (SILKO 2.240 2007, 4.) mukaisesti:

1. Kansilaatan betoni on rapautunut tai betoninkosteuspitoisuus on liian korkea. Suhteellinen kosteus saa olla sivulla 109 olevan Taulukko 7. mukaan kermi eristeillä 93 % (absoluuttinen kosteus 5 %), mastiksi eristeellä 96 % (absoluuttinen kosteus 6 %) ja massoilla tuotekohtaisten ohjeiden mukainen.
2. Kansilaatan pinta on epätasainen, kun betoni on tiivistetty tai hierretty huonosti, muotit ovat antaneet myöten tai tuoreeseen pintaan on aiheutettu painumia laudoilla tai kävelemällä.
3. Eristysalustan viettokaltevuus on riittämätön.
4. Eristysalustan kloridipitoisuus on liian korkea, jonka seurauksena betoni rapautuu.
5. Betoniterästankoja on kansilaatan pinnassa.
6. Eristysalustassa on tartuntaa haittaavaa bitumia tai muuta ainetta.

Eristysalustan kunnostustapa valitaan vaurioiden ja tutkimustulosten perusteella. Vanha vedeneristys irrotetaan yleensä petkeleellä, koska jyrsimen pyörivät terät sulattavat bitumia ja se tarttuu teriin, jolloin puhdistustulos ei ole riittävän hyvä. Järeät purkamismenetelmät kuten vesipiikkaus ja jyrsintä voimakkaalla laitteella tulevat kysymykseen laajoilla pinnoilla. Työssä on varauduttava siihen, että kunnostustapa valitaan lopullisesti vasta, kun pintarakenteet on purettu.

Taulukko 5. Numeroitujen kohtien vaatimat toimet ovat yleensä seuraavat: (SILKO 2.240 2007, 4.)

Toimenpide	1	2	3	4	5	6
Vesipiikkaus				x		
Mekaaninen piikkaus		x		(x)	x	
Jyrsintä	x			x		x
Suihkupuhdistus	x	(x)	(x)	(x)		x
Irrotus petkeleellä						x
Öljynpoisto			x			
Kuivatus	x					
Paikkaus		x			x	
Tiivistys	x					
Massakerroksen valu	x	(x)	(x)	(x)		
Betonikerroksen valu	x	x	x			

### 5.7.2 Kannen pinnan käsittely ennen vesieristystä tai muotoiluvalua

Mikäli kannen pinnan kuntoa tutkittaessa todetaan, että pelkkä huolellinen puhdistus riittää, niin voidaan puhdistus suorittaa korkeapainevesipesulla >500 Bar joko kässissä pidettävällä pistoolilla kuten Kuvassa 28. tai vesipiikkausrobottiin asennettavalla tasovesipesurilla. Korkeapainepesu irrottaa tehokkaasti kaiken tartuntaa heikentävän aineksen, erityisen hyvä se on Kuvan 24. mukaisten eristejäämien poistossa. Tartuntapinta on sen jäljiltä muuten valmis, mutta vaatii hieman kuivumista ennen pinnoitusta epoksilla. Toinen vaihtoehto on käyttää puhdistukseen hiekkapuhallusta Kuvan 25. mukaisesti tai sinkopuhdistusta, joista kumpikaan ei ole kovin tehokas vanhan vesieristeen jäämien poistoon. Bitumi tai kivihiiplikki tahtoo sulaa puhallettaessa ja leviää vain tai tarttuu lujempaan. Pienten määrien poisto onnistuu kyllä näinkin, kuten Kuvasta 26. ilmenee, mutta puhallus pitää tehdä erittäin huolellisesti, jos halutaan saada kaikki bitumijäämät pois. Myös timantti hionta/ jyrsintä saattaa olla vaihtoehto. Epoksilla käsiteltävä alusta ei saa olla kuitenkaan ollenkaan liian sileä ja lasimainen, millainen se helposti timanttihionnan jäljiltä on.



Mikäli kannen pinta todetaan lujuudeltaan liian heikoksi tai kloridien tunkeutumisen takia joudutaan pinnasta poistamaan betonia, on vesipiikkaus järkevin keino työn suorittamiseen, kuten Kuvan 27. alkaliskiviainesreaktion hapertamalle kannelle on tehty. Sopiva piikkauspaine valitaan kokeilemalla. Paine on oikea silloin kuin kaikki heikko aines irtoaa, mutta ei kuitenkaan vahingoiteta kantta vauriota syvempää. Tarkoituksena on poistaa ainoastaan heikentynyt betoni. Kokenut piikkausryhmä tietää asettaa aloituspaineen heti lähes kohdalleen.

Jos kannen lujuudet ovat riittävät eikä betonissa ole liiaksi klorideja, mutta pinta on liian epätasainen tai kaadot vääränlaiset riittää kannen puhdistus kaikesta tartuntaa haittaavasta aineksesta ja sen päälle suoritettava muotoiluvalu, joko tietyille alueille tai koko kanteen tilanteen mukaan. Tällöin puhdistus voidaan tehdä joko korkeapainepesuna, tasovesipesuna, sinkopuhalluksena tai hiekkapuhaltamalla. Paras tartunta saadaan tässäkin tapauksessa vedellä. Tämän jälkeen voidaan suorittaa muotoiluvalu, josta lisää tuonnempana. (SILKO 2.240 2007.)



Kuva 24. Epätasainen ja koloinen kansi noin 20 mm mekaanisen jyrinnän jälkeen. Betoni on lujaa, mutta erittäin epätasaisen kannen kolot ovat täynnä bitumia ja kallistukset puutteelliset. Kanteen tehtiin muotoiluvalu, jota ennen poistettiin bitumijäämät hiekkapuhaltamalla.



Kuva 25. Kannen hiekkapuhallus ja bitumijämien poisto.





Kuva 26. Kannen bitumia täynnä olleet kolot hiekkapuhalluksen jälkeen.





Kuva 27. Erittäin huonokuntoinen alkalikiviainesreaktion rapauttama sillan kansi vesipiikkauksen jälkeen, kun pinnasta on lähtenyt 30-100 mm kerros rapautunutta betonia.





Kuva 28. Kannen pinnasta poistettiin eriste jäämät ja muu irtoaines korkeapainepesulla, suurin osa työstä tehtiin tasovesipesurilla, mutta viimeistelyt käsipistoolilla noin 2000 Bar paineella. Päälle tuli epoksitiivistys ja kermieristys.

## **5.8 Tippaputket ja pintavesikaivot**

Kannen vanhat tippaputket ja pintavesikaivot poistetaan. Kannen ohuella maksimissaan 300 mm vahvuisella reunaulokkeella olevien putkien poisto onnistuu varsin kätevästi jonkin verran nykyisiä putkia suuremmalla timanttiporalla poraamalla, mutta jos putket tai kaivot ovat kannen kuormat kantavalla osalla, niin poraamisessa tarvitaan enemmän tarkkuutta ja erikoispitkä timanttipora. Kansilaatan vahvuus on kantavalla osalla yleensä 700 mm-1000 mm. Usein reunan tippaputket ovat aivan reunapalkin vieressä, jolloin niiden poisto kannattaa tehdä samalla kun puretaan reunapalkki, mutta jos ne ovat kauempana reunasta joudutaan nekin poistamaan poraamalla. Joskus kaivot ja tippaputket nousevat paikoiltaan jo kannen suojabetonia purettaessa. Joskus poisto saattaa onnistua hakkaamalla putki läpi kannen pois reiästään, mutta yleensä ne ovat niin lujassa kiinni, että poraus on ainut vaihtoehto.

## **5.9 Siipimuurien sivustojen ja päätyjen taustojen avaus**

Kun kannen ja reunapalkin purku on valmis, voidaan kaivaa päädyt ja siipimuurien ympärykset auki. Päätyä avataan ainoastaan siihen syvyyteen, että saadaan vesieristys ulotettua suunnitellulle korkeudelle. Siipimuurien osalta vaatimuksena on yleensä, että siipimuurien näkyviin pintoihin tulee bitumisively. Käytännössä tämä tarkoittaa, että siipimuurin sisäpuolta avataan hieman siiven kulmaviisteen alapuolelle.

## 6 PINTARAKENTEIDEN UUSIMINEN

Pintarakenteiden uusimisen käsittelyn yhteydessä käytetään muutamaa eri kohdetta esimerkkinä. Asiat eivät ole sidottuja johonkin tiettyyn kohteeseen, mutta havainnollistuksen ja käsittelyn kannalta on helpompaa, kun niitä esitetään todellisen kohteen avulla. Pintarakenne remontissa aikataulutuksen kannalta kriittisimmät vaiheet ovat kannen muotoiluvalun kuivumisajat. Betonin kuivuusvaatimus, alle 5 painoprosenttia, vaatii yleensä vähintään 4 viikon kuivumisajan ja lisäksi valun jälkihoitoaikaa vähintään viikon, eli yhteensä 5 viikkoa. Koska työt tehdään vielä kahdessa vaiheessa, joudutaan tuo kuivumisaika varaamaan aikatauluihin kahteen kertaan eli yhteensä 10 viikkoa. Tuohon aikaan päästään optimiolosuhteissa, mutta kostea sää tai vuotava sääsuoja venyttää aikaa helposti useammalla viikollakin. Kuivumisen odottelun aikana voidaan toki tehdä sillan muiden vaurioiden korjausta ja esim. keilojen ja alusrakenteiden korjaukset, mutta kannella ei pystytä sinä aikana tekemään paljoakaan. Koko työn aikataulutus meneekin siitä syystä muotoiluvalun kuivumisen mukaan. Sillan kaikki asfaltoinnit pitää olla tehtynä lokakuun loppuun mennessä ja korjausta päästään yleensä aloittamaan huhti- toukokuussa. Pikasementtien käyttö on kielletty muotoiluvaluissa.

### 6.1 Betonin lujuusongelmat ja niiden vaikutukset pintarakenneremonttiin

Siltavaluissa käytettävät P-luku betonit ovat ilmamäärään vaikuttavan lisäaineistuksen vuoksi vaikeampia tai ainakin herkempiä valmistettavia. Ilmamäärän tahattoman lisääntymisen kanssa on ollut viime vuosina ongelmia useilla työmailla, joita on käsitelty eri medioissakin varsin laajasti. Siitä seurausta ovat myös tiukentuneet laadunvalvontatoimet siltavaluissa.

Käytännössä tämä näkyy siten, että jokaisesta työmaalle toimitettavasta pienestäkin betonierästä täytyy ottaa kuuden normikoekappaleen sarja puristuslujuuden määrittystä varten. Koekappaleet testataan 28 vrk iässä hyväksytyssä testauslaitoksessa. Pintarakenneremontissa tämä tarkoittaa vähintään neljää sarjaa koekappaleita, vaikka esim. pienelle alle 20 m sillalle tehtävällä pintarakenneremontilla kaikkiaan

valettavat betonimäärät ovat 20 m<sup>3</sup> luokkaa. Lisäksi kaikki koekappaleet tehdään ja säilytetään työmaalla +20 °C lämpötilassa vesiastiassa. (LIVI/7210 2016.)

Pienillä silloilla kustannusvaikutus kasvaa betoni kuutiota kohden korkeaksi. Yhden 6 koekappaleen testausarjan hinta on valmistuskustannuksineen, kuljetuksineen ja säilytyksineen helposti 1000 € luokkaa. Huonoin puoli tällaisessa testaustavassa on, että tieto lujuuden alituksesta saadaan vasta aikaisintaan 28 vrk kuluttua valusta, jolloin korjaavat toimet viivästyvät ja joitakin rakenteita on jo helposti ehditty laittaa umpeen. Eräällä omallakin korjaustyömaalla on tullut vastaan tilanne, jossa kannen muotoiluvalun betonierä alitti lujuusvaatimukset ja sikäli on hyvä, että laadunvalvontaa on lisätty, koska sille tuntuu todellakin olevan tarvetta. Kaikki toimet ongelmien poistamiseksi tulee tehdä ja lisätä tietoutta asiasta, jota toki on jo runsaasti tehtykin.

## **6.2 Reunapalkin korjaus**

### **6.2.1 Reunapalkin telineen ja vesipiikkaussuojauksen rakentaminen**

Reunapalkin korjausta varten joudutaan kannen alle rakentamaan teline, jossa päästään työskentelemään reunapalkin uusimiseksi. Saman telineen varaan rakennetaan reunapalkin valumuotti. Telinesuunnittelija tekee telineen lujuuslaskelmat ja suunnitelmat, joiden pohjalta teline rakennetaan. Teline on usein kannattavaa rakentaa jo ennen vanhan reunapalkin purkua, jos purku tehdään vesipiikkaamalla. Tällöin telinettä voidaan hyödyntää veden ja purkujätteen keruussa ja poisjohtamisessa sekä suojauksessa kuten Kuvassa 30. tehtävissä valmisteluissa.

Esimerkki korjauskohteessa teline on kannateltuna kannen reunaulokkeen läpi Kuvan 31. suunnitelman mukaisesti poratuilla Dyvidag-vetotangoilla, joiden varassa roikkuvat 3 metrin pituiset teräspalkit 2 metrin jaolla koko sillan kannen matkalla kuten Kuvassa 29.

Reunapalkin telineen asennus on tehtävä nostokorista käsin. Aikaa palkkien ja itse puisen telineen tekoon kului kaikkineen 58 m pituisella sillalla 3 työntekijältä noin 3 työpäivää eli 72 h. Telinettä suunniteltaessa ja tehdessä kannattaa huomioida, että



telineelle jää riittävä työskentelytila siinäkin vaiheessa, kun muotin pohja on rakennettuna ja palkki raudoitettuna. Tässä kohteessa lisätilaa haettiin suunnitelmasta poiketen sillä, että suojakaidetta kallistettiin yläpäästään noin 400 mm ulospäin. Myös tartuntaterästen reikien poraaminen kannen reunaan vaatii yllättävän ison tilan. Tässä kohteessa tartuntojen ankkurointi syvyys oli vain 350 mm, mutta eräällä toisella sillalla 500 mm. 20 mm timantti poran pituus on 800 mm ja koneen pituus noin 400 mm eli tilaa täytyy olla vähintään 1200 mm että poraus onnistuu.



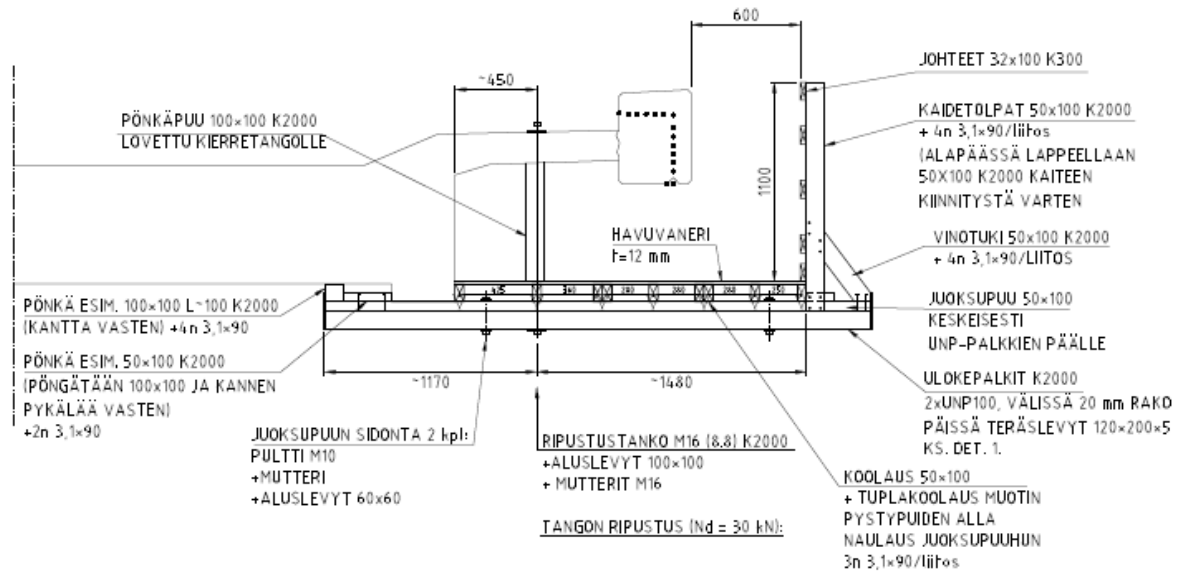
Kuva 29. Reunapalkin teline alhaaltapäin.



Kuva 30. Reunapalkin teline ja vesipiikkaussuoja teräslevyt osittain asennettuna.



## TYÖTELIN 1:20



Kuva 31. Reunapalkin työteline.

Esimerkki kohteessa reunapalkki purettiin vesipiikkaamalla robotilla. Telineen pohjaan on asennettu 1,5 mm paksuiset teräslevyt suojaamaan telinettä vesipiikkauksen 1300 Bar vesisuihkulta ja lentäviltä betonin kappaleilta. Lisäksi kyseinen kohde oli siinä mielessä erittäin hankala, että sillan alta kulki tie ja pyörätie sekä junanrata. Tämä tarkoitti sitä, että veden ja piikkausjätteen lentäminen piti saada minimoitua. Veden valumisen kannalta kriittisille paikoille asennettiin telineen kaidetta vasten suojamuovi ja sen päälle suojaksi 12 mm vaneri. Siitä huolimatta teräslevyistä kimpoava vesisuihku ja betoni jäte rikkoivat muovin, ja vesi pääsi valumaan osittain väärästä välistä. Lisäksi liikennettä ohjattiin alapuolisella tiellä tilanteen mukaan eri kaistalle. Kevyenliikenteen väylän suojana oli puurakenteinen suojakatos, joka on esitettyinä Kuvassa 32. Seuraavalla vastaavanlaisella kohteella tuo muovin rikkoutuminen ja veden vuotaminen tullaan ratkaisemaan alakulmaan asennettavalla kulmapellillä, joka nostetaan vähintään 500 mm korkeuteen kaidetta vasten ja päälle asennetaan kaitteen yläreunaan asti ulottuva vanerilevy.





Kuva 32. Kevyenliikenteen suojaamiseksi tehty katos.

## 6.2.2 Reunapalkin tartuntaterästen ankkurointi

Reunapalkin telineen ja reunapalkin purun valmistuttua voidaan siirtyä uuden reunapalkin tartuntojen reikien poraukseen. Suunnittelija määrittää kemiallista ankkurointia käytettäessä ankkureiden ja ankkuroinnin laatuvaatimukset. Jos suunnitelmassa on merkittynä jokin tietty ankkurimassa, niin tarkoittaa tämä sitä, että toisen valmistajan tuotetta ei voida käyttää ilman suunnittelijan kannanottoa asiasta.

Teräksien ankkurointi voidaan tehdä myös käyttämällä sementtilaastia, jonka kiviaineksen raekoko on enintään 2 mm ja vesi-sementtisuhde enintään 0,5. Kiviaineksen ja sementin suhde 1:1. Sementtipohjaisella laastilla ankkurointia suorittaessa tulee ankkurointi reiän olla halkaisijaltaan vähintään ankkuroitavan tangon halkaisija lisätynä laastin kiviaineksen maksimiraekoko viisinkertaisena. Esim. 16 mm terästä ankkuroitaessa jouduttaisiin käyttämään vähintään  $16 \text{ mm} + 5 * 2 \text{ mm} = 26 \text{ mm}$  reikäkoko. Ankkurointi massoilla reikä koko määräytyy tuotteen valmistajan ohjeiden mukaan. (SILKO 2.261 2016, 4.)

Tehdessä ankkurointia vaakasuuntaan porattuihin reikiin kuten reunapalkin uusimisen yhteydessä pääosin tehdään, on ankkurimassan käyttö huomattavasti helpompaa ja nopeampaa kuin sementtipohjaiset juoksevat laastit, joita varten joudutaan reikä poraamaan alaviistoon, että juotos onnistuu. Tämä on hankalaa ohuella reuna ulokkeella, jossa on usein muutenkin ongelmia löytää hyviä paikkoja kaikille tartunnoille. Reikää ei saa porata 50 mm lähemmäksi rakenteen reunaa. Tartuntateräkset pyritään sijoittamaan aina rakenteessa olevien hakaterästen sisäpuolelle, mikäli siinä sellaiset on. (SILKO 2.261 2016, 4-5.)

Myös vaadittavat reikäkoot ovat pienempiä ankkurointimassaa käytettäessä. Ankkurointimassan hinta toki on moninkertainen laastiin verrattuna, mutta käyttö nopeampaa ja siistimpää. Pystysuuntaan porattuja tartuntoja ankkuroitaessa myös laastin käyttö onnistuu helpommin, kun se voidaan kaataa reikään ja työntää tartunta paikoilleen.

Esimerkki kohteessa tartuntateräkset on 16 mm harjateräksestä taivutettu L-malliseksi 300 mm + 800 mm mitoilla. Terästen ankkurointisyyvyys sillan kannen aino-

astaa 220 mm vahvuiseen reunaulokkeeseen on 500 mm. Ankkuroinnissa käytetään suunnitelmien mukaista kemiallista ankkurointimassaa Hilti HIT-RE500 V3, joka on epoksipohjainen, raskaalle kuormitukselle tarkoitettu massa. Ominaisuuksiltaan erittäin hyvä vanhaan siltabetoniin tehtäviin ankkurointeihin. Sillä voidaan ankkuroida harjateräksiä tai kierretankoja myös osin halkeilleeseen betoniin. Sitä voidaan käyttää kuivan, märän ja veteen upotetun betonin ankkurointiin. Lisäksi käyttölämpötila-alue ulottuu -5 °C asteesta aina +40 °C. Monesti ensimmäisen kais-tan osalla varhain keväällä työskenneltäessä betoni on vielä hyvin kylmää, jolloin erityisesti tuo -5 °C ulottuva lämpötila-alue on hyödyllinen. Viileässä ankkurointia tehtäessä massan kuormitettavuuslujuuden kehittämisessä kuitenkin kuluu aikaa helposti useita vuorokausia, kuten käy ilmi seuraavan sivun Taulukosta 3. (HILTI HIT-RE 500 V3 INJECTION MORTAR 2019.)

Kyseisessä korjaus kohteessa käytettävää 16 mm harjaterästä ankkuroitaessa porattava reikä tulee olla kooltaan 20 mm ja asennettavia tartuntateräksiä on 184 kpl per reunapalkki. Reikien poraukseen ja puhdistukseen kuluu 2 RAM työryhmältä aikaa noin 16 tuntia. Puhdistus tehdään porakoneeseen asennettavalla harjalla ja/tai tehokkaalla paineilmapillillä puhaltamalla. Puhallettaessa on varottava reiästä erittäin kovalla voimalla lentävää betonipölyä. Parhaiten pillinä toimii taivutettu putki, tällöin puhallus voidaan suorittaa olemalla itse reilusti sivussa reikään nähden. Puhallus aloitetaan työntämällä pilli ensiksi reiän pohjalle ja vasta sitten aloitetaan puhallus, jolloin ilma puskee tehokkaasti pölyn pois reiästä, kun samalla vedetään pilliä ulospäin. Tämä toistetaan useamman kerran jokaisen reiän kanssa. Hyvä indikaattori puhtaudelle on se, kun reiästä ei enää lennä näkyvästi pölyä. Lopuksi puhtaus varmistetaan vielä puhaltamalla satunnaisia reikiä uudelleen. Hyvän tartun-nan varmistamiseksi on tärkeää, että reiät saadaan mahdollisimman puhtaiksi kai-kesta irtoaineksesta.

Kun kaikki reiät ovat kunnolla puhdistettu, voidaan aloittaa ankkurointi. Työ onnis-tuu parhaiten kahden työntekijän voimin, jolloin toinen voi edellä puristaa ankkuroin-timassan reikään ja toinen työntää heti tartunnan paikoilleen ja lukitsee sen niin, että se ei pääse liikkumaan. Massan täyttö pitää aloittaa reiän pohjalta. Tämä varmistaa sen, ettei reikään jää ilmataskuja ja että massaa saadaan oikealainen määrä. Pu-

ristus tapahtuu helpoiten akkutoimisella massapuristimella. Puristimen sekoituskärröön kiinnitetään sopivan kokoinen massan valmistajalta saatava letku ja sen päähän 20 mm reiälle tarkoitettu holkki. Holkin tarkoitus on tiivistää putki reikään, jolloin ulospusertuva massa alkaa työntämään putkea ulos ja samalla varmistaa ilmaton ja täydellisen täytön massalle. Reiän syvyydestä täytetään noin kolmannes eli tässä tapauksessa  $500 \text{ mm} / 3 =$  noin 170 mm. Tämä onnistuu kätevästi mittaamalla ja piirtämällä letkuun merkki, joka tulee näkyviin, kun massa on työntänyt letkua ja holkkia oikean määrän verran ulos reiästä. Massaa on oikea määrä, kun se pursuaa reiän suulle asti asennettaessa teräs reiän pohjaan.

Kovin montaa reikää ei kannata täyttää etukäteen, vaan teräs pitää asentaa nopeasti, ettei massa ehdi alkamaan kovettua. Jokainen reikä kannattaa testata etukäteen asettamalla teräkset oikeille paikoilleen reikiin ilman massaa. Näin tehden varmistutaan, että joka reikä on auki, teräksiä on oikea määrä ja että teräkset ovat käden ulottuvilla ruvettaessa täyttämään reikiä massalla. Etenkin lämpimällä ilmalla aikaa ei ole kuin muutaman minuutin verran ennen kuin massa alkaa reagoimaan. Kylmemmässä säässä aikaa on hieman enemmän. Teräksiä ei saa asennuksen jälkeen liikutella tai väännellä, ennen kuin massa on kunnolla kovettunut. Valmistajan taulukon mukaan ankkuroituja teräksiä voidaan liikutella ja kuormittaa seuraavasti riippuen lämpötilasta, mutta asennusaika on todellisuudessa huomattavasti lyhyempi. Massan kovetuttua testataan satunnaisotoksella terästen tartunnan onnistuminen lyömällä teräksiä vasaralla, jolloin äänestä ja tärähdyksestä huomataan erot terästen välillä. Joskus joudutaan tekemään myös tartuntavetokokeita tartunnan onnistumisen varmistamiseksi. Valmis ankkurointi on esitettyä Kuvassa 33.



Taulukko 6. HILTI HIT-RE500 ankkurimassan työskentely- ja kuormitettavuus ajat.  
(HILTI HIT-RE 500 V3 INJECTION MORTAR 2019, 19.)

Working time and curing time

Temperature of the base material	Max. working time in which rebar can be inserted and adjusted $t_{gel}$	Min. curing time before rebar can be fully loaded $t_{cure}^{1)}$
$-5\text{ °C} \leq T_{BM} < -1\text{ °C}$	2 h	168 h
$0\text{ °C} \leq T_{BM} < 4\text{ °C}$	2 h	48 h
$5\text{ °C} \leq T_{BM} < 9\text{ °C}$	2 h	24 h
$10\text{ °C} \leq T_{BM} < 14\text{ °C}$	1,5 h	16 h
$15\text{ °C} \leq T_{BM} < 19\text{ °C}$	1 h	12 h
$20\text{ °C} \leq T_{BM} < 24\text{ °C}$	30 min	7 h
$25\text{ °C} \leq T_{BM} < 29\text{ °C}$	20 min	6 h
$30\text{ °C} \leq T_{BM} < 34\text{ °C}$	15 min	5 h
$35\text{ °C} \leq T_{BM} < 39\text{ °C}$	12 min	4,5 h
$T_{BM} = 40\text{ °C}$	10 min	4 h

1) The curing time data are valid for dry base material only. In wet base material the curing times must be doubled.



Kuva 33. Reunapalkin tartuntateräkset ankkuroituna kannen reunaulokkeeseen.

### 6.2.3 Reunapalkin muottityö

Reunapalkin muottityöstä laaditaan työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma ennen ko. työvaihetta. Reunapalkin muotti valmistetaan siltapaikalla, yleensä 20 mm:n sahausta laatuluokan C tai D raakapontti- tai karkeahöylätystä mitallistetusta laudasta. Sen tulee olla ulkokuivaa eli kosteudeltaan noin 20 %. Muotti pidetään jatkuvasti kosteana, jolloin vähennetään valun tarttumista muottiin ja parannetaan valupinnan laatua, kun muotti ei ime kosteutta betonin pinnasta. Kastelulla estetään myös muotin kutistuminen ja rakojen aukeaminen. Muottityössä on erittäin tärkeää onnistua varmistamaan muotin tiiviys olemassa olevia rakenteita vasten, että saadaan siisti ja onnistunut lopputulos. Näkymiin jäävät kulmat viistetään 20 mm x 20 mm<sup>2</sup> kolmiorimalla. (Infra RYL 2008, 117). Hyvin usein korjattavissa silloissa pinnan laatuvaatimuksena on sillan pituussuuntainen lautakuvio, kuten sillan muissakin rakenteissa. Niin on esimerkki kohteessakin. Joskus myös korjattavilla silloilla käytetään muottikangasta reunapalkeissa, kuten yleensä uusissa silloissa. Muottikangas vähentää pintahuokosia ja parantaa pinnan pakkasuolakestävyyttä, mutta yleensä vanhoilla korjattavilla silloilla sitä ei käytetä, johtuen juuri tuosta muun sillan kanssa yhtenevästä ulkonäkövaatimuksesta. (SILKO 2.211 2008, 7.)

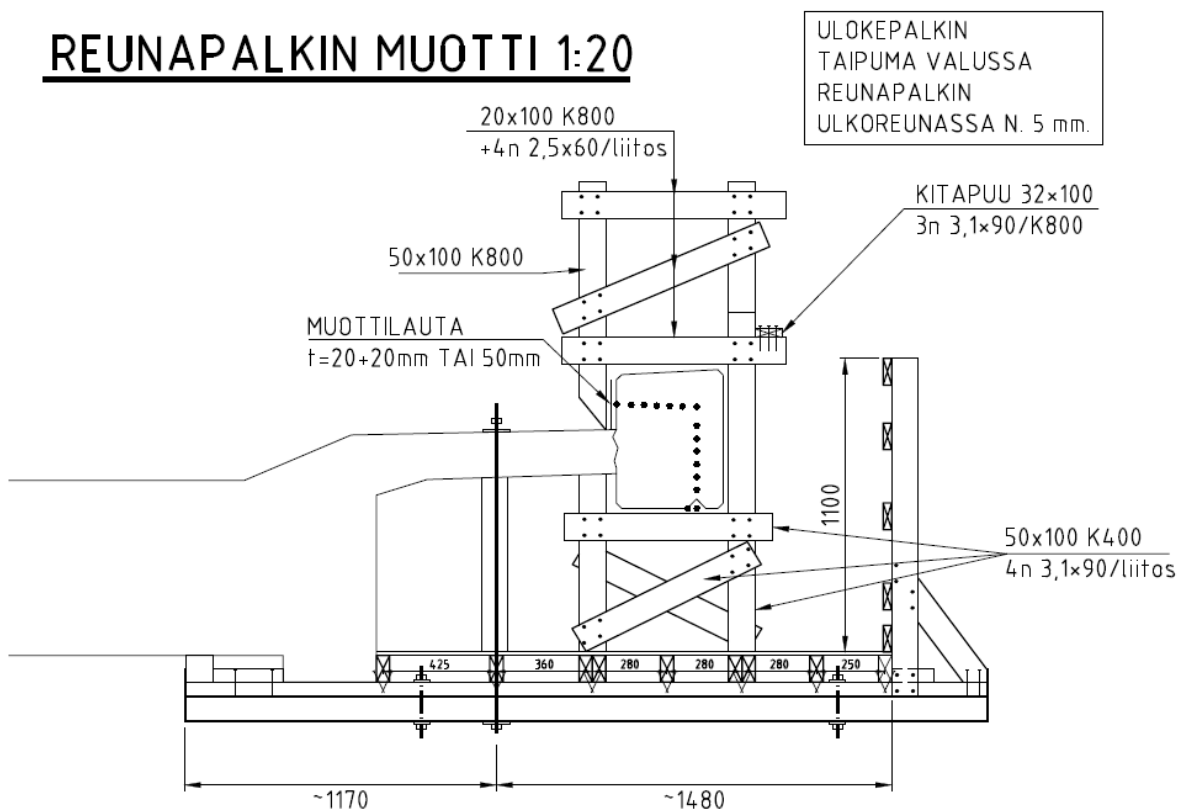
Reunapalkin muotti on hyvä tehdä siten, että aluksi rakennetaan ainoastaan muotin pohja ja merkitään siihen palkin takareunan paikka. Tällöin seuraavassa vaiheessa asennettava palkin raudoitus saadaan varmemmin oikealle paikalleen, kun sen kiinnittäminen muovivälikkeillä eli ns. korpuilla voidaan tehdä muotin pohjaan. Toisaalta jos palkin ulkoreuna laudoitettaisiin umpeen heti, olisi raudoituksien asennus lisäksi myös erittäin työlästä ja hankalaa. Reunapalkin muottityö tehdään suunnitelman mukaisesti, josta esimerkki on Kuva 34. seuraavalla sivulla. Reunapalkin mittatarkkuusvaatimukset (Infra RYL 2008, 75.) mukaan ovat seuraavat:

1. Sillan ja reunapalkin muodolla vaakasuunnassa tarkoitetaan sillan reunapalkin ulkoreunan muotoa koko sillan pituudella.
2. Sillan ja reunapalkin muotopoikkeama vaakasuunnassa saa olla sillan keskellä enintään L/1000 mutta korkeintaan 100 mm ja sillan neljännespisteissä enintään L/1500 mutta korkeintaan 70 mm. L on alakohdan 4. mukaisesta tapauksesta riippuen, joko sillan pituus tai päällysrakenteen pituus. Suurempaa tarkkuutta kuin  $\pm 20$  mm ei kuitenkaan vaadita. Enimmäispoikkeamat ovat vastaavasti sillan keskellä L/500 ja

200 mm sekä sillan neljännespisteissä L/750 ja 140 mm. Enimmäispoikkeamalle ei kuitenkaan käytetä pienempää arvoa kuin 40 mm.

3. Muoto määritetään kummankin reunapalkin päältä ulkoreunasta päällysrakenteen päistä, sillan keskeltä ja sillan neljännespisteistä.

4. Jos sillassa on päällysrakenteen suuntaiset siipimuurit, muototarkastelu ulotetaan siipimuurien päähän saakka. Muussa tapauksessa muoto määritetään sillan päällysrakenteen pituudelta.



Kuva 34. Reunapalkin muottisuunnitelma eräällä sillalla.

#### 6.2.4 Reunapalkin raudoitus

Ennen raudoitustyötä on hyvä olla kaidetolppajako merkittynä esim. muotin pohjaan. Näin raudoittajan on helppo asentaa mahdolliset lisäteräksset kaidetolppien kohdille. Raudoitustyö tehdään korjaussuunnitelmassa esitetyn mukaisesti. Lisäksi

laaditaan työvaiheen työ- ja laatusuunnitelma, jossa esitetään esivalmisteisten raudoitteiden käyttö, pinnoitettujen betoniterästankojen käsittelyyn liittyvät asiat ja betoniterästankojen tuenta. (Infra RYL 2008, 118). Reunapalkeissa ei saa käyttää työteräksiä, vaan suojaetäisyydet varmistetaan asentamalla muovivälikkeet riittävän tiheästi reunapalkin hakasten kohdille, kuten Kuvassa 35. (SILKO 2.211 2008, 8). Raudoitustyössä ei sinällään ole mitään tavanomaisen palkin raudoituksesta poikkeavaa. Raudoitustyön on täytettävä (Infra RYL 2008,118.) vaatimukset, joissa todetaan muun muassa seuraavaa:

1. Raudoitteiden mitoissa on otettava huomioon muottien ja raudoitteiden valmistus ja asennustoleranssit siten, että raudoitus mahtuu rakenteeseen ja ettei raudoitusta suojaava betonipeite alitu.

2. Betoniterästankojen sijainnin on täytettävä RakMK ohjeiden B4 kohdissa 4.2.3 ja 4.2.7 esitetyt vaatimukset. Sen lisäksi edellytetään, että tankojen sijainti täyttää seuraavat toleranssit:

- taivutetun rakenteen yhdensuuntaisten vedettyjen pääraudoitustankojen keskinäinen etäisyys rakenteen toimivassa suunnassa  $\pm 10$  mm, enimmäispoikkeama  $\pm 15$  mm
- muiden yhdensuuntaisten tankojen keskinäinen etäisyys  $\pm 50$  mm, enimmäispoikkeama  $\pm 75$  mm
- yhdensuuntaisten tankojen vapaan välin vähimmäisarvoa ei saa alittaa 5 mm enempää
- tangon pituussuuntainen poikkeama  $\pm 100$  mm, enimmäispoikkeama  $\pm 150$  mm.





Kuva 35. Raudoitettu reunapalkki odottaa tuplausta ja kaidetolppien pulttikehien asennusta.

#### 6.2.5 Reunapalkin muotin tuplaus ja pulttikehien asennus

Reunapalkin muotti tehdään loppuun raudoituksen valmistuttua eli rakennetaan muotin takareunan ja etureunan muotti. Reunapalkin muotti tuetaan ulkopuolisilla siteillä eikä siinä saa käyttää betonipintaa lävistäviä muottisiteitä. (Infra RYL 2008, 117).

Reunapalkin liikuntasauaman topparit tehdään solumuovista tai muusta vastaavasta kasteltaessa paisumattomasta, väriä päästämättömästä ja lämmitettäessä paisumattomasta materiaalista. Liikuntasauaman leveys selviää suunnitelmista tai sivun 127, Taulukosta 8. Sauman leveys riippuu sillan kannen liikepituudesta. (Infra RYL 2008, 117.) Muotin tulee olla niin tiivis, ettei sementtiliiman valuminen raoista heikennä rakennetta eikä sotke ympäröiviä ja alapuolisia rakenteita, ympäristöä, ajoneuvoja tai henkilöitä. (Infra RYL 2008, 117).

Pylvään kiinnitysruuvit asennetaan ennen reunapalkin valua paikalleen esim. vanerista asennuslevyä apuna käyttäen. Ruuvien kierteet suojataan betonilietteeltä esim. teipillä. Asennuslevy tulee pylvään alusmuttereiden (matala mutteri) päälle. Asennuslevyn ja reunapalkin yläpinnan väliin jätetään noin 50 mm rako. Ruuviryhmän alusmutterit kierretään sitä ennen tarkasti samaan korkeuteen. Ruuviryhmä kiinnitetään asennuslevyllä tiukasti oikeaan asemaansa ja siten, että pylväs tulee aina pystysuoraan. Valuvaiheessa betoni tiivistetään huolellisesti ruuviryhmän kohdalta ja reunapalkin pinta hierretään mahdollisimman hyvin myös asennuslevyjen alta. Asennuslevyt poistetaan mahdollisimman pian valun jälkeen, jolloin betoniroiskeet on vielä mahdollista puhdistaa vesipesulla ruuveista. (Infra RYL 2008, 230.)

Kuvissa 36. ja 37. on esitettyä betonoitavaksi valmis, raudoitettu ja tuplattu reunapalkki, jossa pultit on asennettu paikoilleen levyn avulla. Pulttien tulee olla tarkasti suunnitelmien mukaisilla paikoillaan, että niihin asennettavan kaiteen kiinnitys onnistuu. Normaali kaidetolppajako on 2000 mm ja pulttikehän koko 145 x 145 mm.



Kuva 36. Kaidetolpan pulttikehä asennettuna ennen reunapalkin betonointia.





Kuva 37. Raudoitettu ja tuplattu reunapalkki valmiina betonoitavaksi.

#### 6.2.6 Reunapalkin betonointi

Ennen betonointia tulee olla tehtynä ja hyväksyttynä betonointisuunnitelma ja raudoitustarkastus. Käytettävästä betonista pitää olla betonitoimittajalla tehtynä ja tilaajalle toimitettuna ennakkokokeet ja suhteutustiedot viimeistään viikkoa ennen betonointityötä. (Infra RYL 2008, 109.) Betonimassan tilaus onkin syytä tehdä hyvissä

ajoin, jotta betonitoimittaja ehtii hoitaa ennakkokokeet ja suhteutustiedot. Mikäli kyseessä on erikoisempi betonilaatu, josta ei ole valmiita ennakkokokeita saattaa niiden tekemisessä mennä aikaa kuukausi.

Muotit ja valuun kiinnittyvät betonipinnat puhdistetaan ja kastellaan hyvin vuorokautta ennen valua, jonka jälkeen ne suojataan sateelta ja auringonpaisteelta. Valun alkaessa betonipintojen pitää olla kosteita, muttei märkiä parhaan mahdollisen tartunnan aikaansaamiseksi. (SILKO 2.211 2008, 9.)

Lautamuotit kastellaan siten, että ne ovat betonointia aloitettaessa tiiviit ja niin kosteat, ettei sementtiliima imeydy niihin. Viimeisen kastelukerran jälkeen muottipinnoille jääneen veden on ehdittävä haihtua ennen betonointia. (Infra RYL 2008, 120.)

Valutyön aikana on oltava turvattuna sähkön saanti työmaalle esim. aggregaatti varalla. Sopiva tärysauva reunapalkin valuun on 25-48 mm. Vara tärysauva pitää olla työmaalla tai saatavilla nopealla aikataululla. Koko valitaan sen mukaan, että sauva mahtuu kunnolla palkin sisään raudoitteiden välistä. Kaikki valussa tarvittavat koneet ja kaapelit testataan toimiviksi ennen valua ja huolehditaan että valun jälkihoitotarvikkeet ovat työmaalla. (SILKO 2.211 2008, 9.)

Itse valu suoritetaan pumppaamalla betoni muottiin. Reunapalkin valussa sopiva valumiesten määrä on 3, jolloin yksi hoitaa betonin ohjauksen muottiin pumpun letkua ohjaten, toinen huolehtii riittävästä tiivistämisestä eli vibrauksesta ja kolmas hoitaa pinnan teon. Jokaisesta työmaalle tulevasta betonikuormasta mitataan ilmat, joiden tulee olla vaadituissa rajoissa. (Siltabetonien P-lukumenettely 2016, 12.) sanoo asiasta seuraavasti:

Betonin ilmamäärän mittaukset tehdään mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa ennen massan sijoittamista muottiin, esim. betonipumpun letkun päästä. Mitattu ilmamäärä ei saa ylittää suhteituksen mukaista ilmamäärää enempää kuin 3 %-yksikköä.

Betonimassan notkeusvaatimus on S3-S4. Betonimassan sopiva vibrausaika on 200-300 s/m<sup>3</sup>. Lopuksi tehdään kevyt muottitärytys. Jälkitärytys tehdään massan tärytysajan kuluessa ja ellei tarkempaa määritystä ole tehtynä, on jälkitärytys mahdollista, jos vibra painuu omalla painollaan betoniin. Erityishuomiota vibramiehen

tulee kiinnittää kaidetolpan kiinnityspulttien ympärystän tiivistämiseen. Lopuksi palkin yläpinta tasoitetaan ja hierretään lastalla. Hierto on tehtävä oikeaan aikaan ennen kuin massa alkaa jäykistyä. Hierrettävälle pinnalle ei saa levittää vettä, mutta varhaisjälkihoitoainetta voidaan käyttää apuna hierrossa. (SILKO 2.211 2008, 9.)

Betonointi on tehtävä siten, että betonimassa ei erotu, muotti täyttyy kaikilta osin, raudoitus ei siirry, betonimassa tiivistyy riittävästi ja että betonimassan haitallista painumista ei esiinny. (Infra RYL 2008, 121.)

Massa siirretään muottiin niin pienissä erissä ja sellaista menetelmää käyttäen, että raudoitus ei siirry betonoinnin aikana pois paikoiltaan. Massan vapaa pudotuskorkeus on enintään 1,0 m. (Infra RYL 2008, 121.)

Kiertonopeus valitaan siten, ettei alempi kerros ehdi sitoutua ennen sen päälle tulevan kerroksen betonointia. Massa otetaan muotteihin ja tiivistetään 250...300 mm kerroksina. Samalla jälkitärytetään edellinen valukerros. (Infra RYL 2008, 121.)

Jos reunapalkki valetaan jälkityönä, vähennetään betonimassan vesimäärää käyttäen notkistetta. Halkeilun pienentämiseksi liittyvissä rakenteissa vanhan ja uuden rakenneosan lämpötilaero pidetään mahdollisimman pienenä lämmittämällä ja lämmöneristämällä vanhempaa osaa. (Infra RYL 2008, 121.)

Jos betonoitava rakenneosa ei pääse lämmön nousun ja laskun aikana vapaasti liikkumaan, huolehditaan lisäksi siitä, ettei betonoitavan ja tähän liittyvän rakenteen keskimääräisten lämpötilojen ero ylitä 20 °C. Urakoitsijan on laadittava tekninen työsuunnitelma kyseisen vaatimuksen toteuttamisesta lämmöneristein ja vastuslangoin. (Infra RYL 2008, 124.)

Myöhemmin valettavan rakenneosan betonin koostumus on oltava mahdollisimman vähän kutistuvaa esimerkiksi käyttämällä notkistavaa lisäainetta ja mahdollisimman suurta kiviaineksen enimmäisläpimittaa. (Infra RYL 2008, 124.)

Jälkihoidon vaikutus on tehokkain, kun välittömästi valun jälkeen valupinnalle levitetään muovikalvo tai varhaisvaiheen jälkihoitoaine. Pinnan hiertämisen jälkeen heti, kun pinta kestää vettä, se kastellaan sumuttamalla tai ruiskutetaan varsinainen jälkihoitoaine ja suojataan uudestaan tiiviillä peitteellä. (SILKO 2.211 2008, 9.)

Valun jälkihoitoa jatketaan peittelemällä, kuten Kuvassa 38. ja kevyesti kastelemalla 1-2 viikkoa. Paras jälkihoito on pitää muotit paikoillaan valun ympärillä ja pinnan suojaaminen tiiviisti muovilla. Erittäin lämpimällä ja/tai kuivattavalla säällä muovin alle suihkutetaan päivittäin vettä. Jos muotit avataan varhaisessa vaiheessa, on varottava lohkaisemasta rakenteen kulmia ja tehostettava muuta jälkihoitoa reippaasti muottien avaamisesta johtuvan mikrohalkeilua aiheuttavan lämpöshokin vuoksi. (SILKO 2.211 2008, 9.)

Pintojen kosteajälkihoitoaika on vähintään yksi viikko. Varsinaisen jälkihoitoaineen vaikutus vastaa 3,5 vuorokauden kosteajälkihoitoa. Jälkihoitoaineen on oltava Tiehallinnon käyttöönsä hyväksymä ja se on tarvittaessa poistettava ennen pinnan suoja-ainekäsittelyä. (SILKO 2.211 2008, 9.)

Reunapalkin tuenta voidaan yleensä poistaa ja jälkihoito lopettaa, kun on saavutettu 70 % nimellislujuudesta. Lujuudenkehitystä voidaan seurata esim. valun lämpötilan seurannalla ja käyttämällä Sadgroven menetelmää (Kaava 1) kypsyysajan  $t_{20}$  määrittämiseen ja lujuuden kehityksen arviointiin. (Betoninormit 2016, 72.)

Betonin  $t_{20}$  kypsyysaika määritetään Sadgroven kaavalla. (Betoninormit 2016, 72.)

$$t_{20} = \left( \frac{T+16}{36} \right)^2 \times t \quad (1.)$$

missä: T on betonin lämpötila aikana t [°C]

t on kovettumisaika [d]

Reunapalkkiin kuivuessa ja kutistuessa syntyvät halkeamat suljetaan imeyttämällä aikaisintaan kahden viikon kuluttua valusta, kuitenkin ennen pintojen likaantumista. "Imeyttämällä suljettavia halkeamia ovat pienet, yleensä 0,1–0,2 mm:n levyiset reunapalkkien, kaidepylväiden juurikorokkeiden ja ajotielaattojen halkeamat." (SILKO 2.239 2004, 2.)





Kuva 38. Betonoitu reunapalkki peiteltynä tiiviisti muovilla.

### 6.2.7 Reunapalkin impregnointi

Uusitut lautapintaisella muotilla tehdyt reunapalkit käsitellään impregnointiaineella. Muottikangasta vasten valettuja pintoja on hyödytöntä käsitellä johtuen pinnan hyvästä tiiviydestä, joka estää aineen riittävän imeytymisen betoniin. Suojakäsittelyn tarkoituksena on muodostaa vettä ja maantiesuolaa hylkivä suojaava kalvo reunapalkin betoniin. Aineen suojaava vaikutus kestää noin 10-15 vuotta. (SILKO 2.252

2019, 1.) Käytettävä aine tulee olla SILKO hyväksytty, käsittelyn on täytettävä sille suunnitelmassa annetut vaatimukset ja käsittely tehdään suunnitelmassa esitettyihin pintoihin. (Infra RYL 2008, 238).

Käsittely voidaan tehdä yleensä aikaisintaan kuukauden päästä valusta, riippuen valitun aineen ominaisuuksista. Osalla aineista käsittely voidaan tehdä vasta 6 kk kuluttua valusta. Uuden pinnan käsittely on tehtävä ennen kuin rakenne joutuu suolarasituksen alaiseksi, eli aineeksi tulee valita tuote, jolla käsittely on mahdollista tehdä ennen talvea. Käsittely tehdään kuivalle ja suihkupuhdistetulle pinnalle tuotteen valmistajan ohjeiden mukaisesti. Käsittelyä ei saa tehdä yli +20 °C lämpötilassa suorassa auringon paisteessa. Käsiteltävän pinnan ja ilman lämpötilan on oltava yli +5 °C. Käsittelyn tekijän ammattitaito on ositettava tilaajalle työnäytteellä tai referensseillä. Aine voidaan levittää telaamalla, sivelemällä tai ruiskuttamalla. Työstä tehdään ennakkokoe. (SILKO 2.252 2019, 3.)

Olosuhdemittaukset tehdään työvuoron alussa, lopussa ja kerran työvuoron aikana. Mittaustulokset dokumentoidaan. Ainemenekin on oltava vähintään sama kuin ennakkokokeessa. Valmiille pinnalle tehdään kastelukoe sumuttamalla pinnalle vettä. Veden kuuluu jäädä helmeilemään pinnalle. (SILKO 2 252 2019, 8.)

### **6.2.8 Kaiteen asennus sillalle ja reunapalkin telineen purun aikataulutus**

Sillan kaiteen asennus kannattaa tehdä ennen sääsuojan rakentamista, jolloin kaidetta voidaan hyödyntää sääsuojan tuennassa ja kiinnityksessä ja kaidetolppien juurivalut voidaan tehdä sääsuojassa. Jos siltapaikalla päästään nostot tekemään sillan alapuolelta, voidaan myös reunapalkin telineen purku suorittaa sääsuojan teon jälkeen, mutta jos nostot on tehtävä sillan kannelta, niin joudutaan odottamaan reunapalkin lujuuden kehitystä purkulujuuteen 70 % asti ja purkamaan teline pois ennen sääsuojan tekoa. Tässä tapauksessa mahdollinen muotoiluvalu on parasta tehdä pian reunapalkin valun jälkeen, jolloin odotusaika saadaan hyödynnettyä myös muotoiluvalun teko ja jälkihoitoajassa. Valu toki joudutaan tekemään ilman sääsuojaa, jolloin kelien vaikutus on huomioitava tarkemmin.



Sillankaiteiden valmistus ja asennus on luvanvaraista työtä. Ajoneuvoliikenteen silloissa käytetään kaiteena ainoastaan Väyläviraston hyväksymiä standardin SFS-EN 1317 mukaisia tyyppitestattuja törmäyskestävyysluokaltaan H2 vaatimukset toteuttavia kuumasinkittyjä teräksisiä (Kuva 39.) tai teräsbetonisia kaiteita. Kaiteen tyyppi ja malli ilmoitetaan suunnitelmassa. Sillankaiteen korkeus ajoradan tai kevyenliikenteenväylän pinnasta pitää olla vähintään 1200 mm. (Siltojen kaiteet 2012, 11.)

(Infra RYL 2008, 229.) toteaa näin kaiteen muodosta, suorudesta ja liikevaroista:

- Kaide asennetaan tien tasausviivan ja sivukaarevuuden mukaisesti, vaikka rakenne, johon se kiinnitetään, olisi tehty siitä poikkeavasti (esim. suora sillan päällysrakenne suurisäteisessä kaarteessa). Poikkeama tästä teoreettisesta asemasta saa olla enintään  $L/1000$ , kuitenkin enintään  $\pm 10$  mm. Suurempaa tarkkuutta kuin  $\pm 2$  mm ei vaadita. Mittaväli ( $L$ , mm) on mielivaltaisen.
- Kaiteen yläjohde asennetaan niin, etteivät sillan päällysrakenteeseen valmistusvaiheessa syntyneet epätasaisuudet näy johteessa. Myös betonin pitkäaikaiset muodonmuutokset otetaan tarvittaessa huomioon. Jännitetyissä silloissa kiinnitetään yläjohde vasta jännittämisen jälkeen. Yläjohteessa ei saa olla 2 mm suurempaa yksittäistä taitetta korkeus- eikä vaakatasossa yhden metrin matkalla.
- Kaidepylväät ja säleet asennetaan pystysuoraan.
- Teräsjohteessa on sama liikevara kuin kaiteen yläjohteessa. Yksi kapean teräsjohteen jatkoksista sijoitetaan samaan pylväsväliin kaiteen liikkuvan jatkoksen kanssa.



Kuva 39. Sillankaide asennettuna ennen reunapalkin tuennan ja telineen purkua.

### 6.3 Kannen muotoiluvalu ja vedeneristysalustan korjaus

Kanteen tehdään muotoiluvalu, mikäli purettaessa tehdyissä kappaleen 5.7 mukaisissa tutkimuksissa ja toimissa näin on todettu. Muotoiluvalu voidaan tehdä ainoastaan jollekin tietylle osalle kantta kunnosta riippuen tai koko kannelle. Kaikki riippuu kannen betonin kunnosta, muodosta ja suunnitelmista. Turhaan muotoiluvalua ei kannata tehdä, jos todetaan että rakenteet ovat vaatimusten mukaisessa kunnossa ja kannen muotoilu ei sitä edellytä. Muotoiluvalun kuivumisaika (yleensä vähintään 4 vko) on muutenkin kriittinen koko työmaan aikataulun kannalta. Toisaalta jos muotoiluvalu joudutaan tekemään, kannattaa se pyrkiä tekemään mahdollisimman ohuena, mikä nopeuttaa kuivumista. Valun paksuuden tulee olla kuitenkin vähintään 20 mm, mutta mieluummin >40 mm. Sääsuojan tekeminen ennen muotoiluvalua olisi myös hyvä keino varmistaa muotoiluvalun onnistuminen, mutta aikataulullisesti ja työteknisesti on monesti kätevämpää tehdä muotoiluvalu ensin.

### 6.3.1 Muotoiluvalun ongelmat

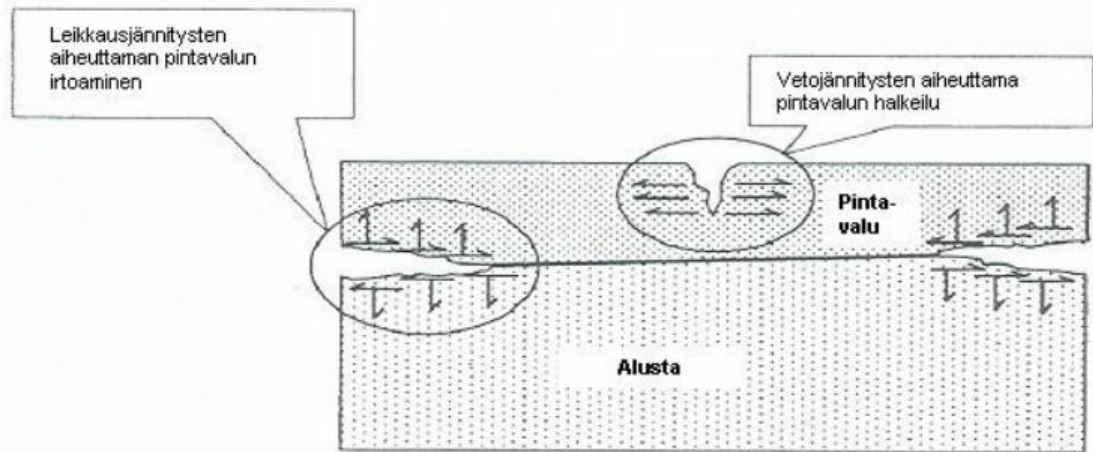
Suurimpia ongelmia ohuessa muotoiluvalussa vanhan betonirakenteen pintaan vallettaessa aiheuttavat pintavalun muodonmuutokset. Niiden seurauksena pintavalu joko halkeilee ja/tai irtaantuu alustastaan. (Kuva 40.) Sen estämiseen on oikeanlaisen betonin suhteutuksen ja tehokkaan jälkihoidon lisäksi keinot vähissä. Hyvä jälkihoito on avainasemassa tilanteen parantamisessa, toki kokonaan sekään ei ongelmaa poista, mutta halkeamat pysyvät pieninä ja jakautuvat tasaisesti, jolloin halkeamien itsetiivistyminen on mahdollista. (VTT 2006.)

VTT:n vuonna 2006 tekemän tutkimuksen mukaan liikenteen aiheuttaman värähtelyn vaikutus muotoiluvalun halkeiluun tai tartunnan heikentymiseen alustaansa on suurimmillaan lujoudenkehityksen alkuvaiheessa ja vähenee nopeasti lujouden kasvaessa. Kriittinen aika alkaa 4 tunnin kuluttua valusta ja loppuu 14 tunnin kuluttua. Betonin notkeudella ei ole vaikutusta painuman ollessa 100 mm suuruusluokkaa, mutta 190 mm painumalla betonin puristuslujuus ja tartunta raudoitukseen on alentunut 5-10 % johtuen betonin erottumisesta. (VTT 2006, 17.)

(VTT 2006, 20.) tekemät johtopäätökset toisella kaistalla kulkevan liikenteen vaikutuksesta olivat seuraavat:

- Merkittävin värähtelyn syy on ajoradan pinnassa olevat epätasaisuudet, jolloin raskaan liikenteen aiheuttamat värähtelyt kasvavat merkittäviksi, mutta pysyvät pieninä, kun nopeus pidetään matalana <15 km/h
- Ajoradan ollessa tasainen, on myös raskaanliikenteen aiheuttama värähtely vähäistä
- Henkilöautojen aiheuttama värähtely pysyy matalana, vaikka ajoradassa olisi huomattaviakin epätasaisuuksia.

Tästä syystä nopeudenrajoitus ja epätasaisuuksien poisto ajoradalta on syytä tehdä. Useat tutkimukset toki viittaavat siihen, että liikenteen aiheuttama värähtely on kuitenkin niin pientä, että se ei vaikuta muotoiluvalun onnistumiseen, mutta täysin varman tiedon puuttuessa nopeuden alentamista ja ajoradan epätasaisuuksien tasoitusta suositellaan. (VTT 2006, 25.)



Kuva 40. Muotoiluvalun muodostuvia raskituksia ja vaurioita. (VTT 2006, 8.)

### 6.3.2 Muotoiluvalun laatuvaatimukset

Muotoiluvalun betonin tulee olla puristuslujuudeltaan vähintään K35, mikä tarkoittaa nykyisellä eurokoodiajan mukaisella merkintätavalla C30/37 lujuusluokkaa. Betonin tulee olla pakkasenkestävyydeltään vähintään P30. Valun minimi paksuuden on oltava vähintään 20 mm (mieluummin  $\geq 40$  mm) ja betoni pitää suhteuttaa mahdollisimman vähän kutistuvaksi, enintään 0,6 ‰ (mm/m) 14 vrk:ssa ja 1,0 ‰ 28 vrk:ssa. (SILKO 2.240 2007, 3.)

VTT:n mukaan 20 mm valunpaksuus on turhan pieni ja suositus olisi mahdollisuuksien mukaan käyttää suurempaa minimipaksuutta. Mitä ohuempi valu on, sitä enemmän työvirheet ja jälkihoidon epäonnistuminen näkyvät halkeiluna ja valun tartunnan heikentymisenä alustaan. (VTT 2006, 22.) Muotoiluvalun viettokaltevuuden tulee olla vähintään 2 %. (SILKO 2.813 2018, 2).

Alustan lämpötilan pitää olla vähintään +5 °C. Paras mahdollinen lopputulos saavutetaan, kun alustan lämpötila on jonkin verran betonimassan lämpötilaa korkeampi valun alussa. (VTT 2006, 10.)

Suurin sallittu halkeaman leveys on 0,2 mm; 0,1 mm leveämpien halkeamien yhteenlaskettu pituus neliömetrin alueella saa olla enintään 0,5 metriä. Halkeiluvaatimukset koskevat myös paikkauksia. Halkeillut

alue, joka ei täytä laatuvaatimuksia, imeytetään kuumuutta kestäväällä epoksilla. Muotoiluvalun ja paikkauksen tartuntalujuuden alustansa ja yläpinnan vetolujuuden on oltava vähintään  $1,5 \text{ N/mm}^2$ . (SILKO 2.240 2007, 3.)

Kuitujen (muovi tai teräs) käyttö betonissa on suositeltavaa halkeamien syntymisen estämiseksi ja halkeamaleveyksien rajoittamiseksi. Muovikuidut vaikuttavat ainoastaan varhaisvaiheen halkeamien syntymiseen. Teräskuidulla voidaan rajoittaa myös myöhemmän vaiheen halkeamien leveyksiä merkittävästi. (VTT 2006, 14.)

Tuohon VTT:n tutkimukseen pohjatuen (SILKO 2.240 2007, 3.) ohje vaatii toimimaan seuraavasti. Liikenteestä aiheutuva värähtely saa olla enintään  $20 \text{ mm/s}$ , mikäli mitataan. Mikäli ei mitata, on sillalle asetettava  $15 \text{ km/h}$  nopeusrajoitus raskaalle yli  $12 \text{ tonnin}$  liikenteelle. Värähtelyn kannalta kriittinen aika on lämpimissä olosuhteissa  $14 \text{ tuntia}$  betonointihetkestä alkaen tai viileämissä olosuhteissa, kunnes saavutetaan  $12 \text{ MPa:n}$  lujuus. Ajoradalla olevat epätasaisuudet tulee tasoittaa.

### 6.3.3 Muotoiluvalun toteutus

Kannen pinta kastellaan hyvin  $1\text{-}2 \text{ vrk}$  ennen valua, mutta valun alkuaan mennessä pinnan pitää ehtiä kuivahtaa, jolloin pinta imee valusta kosteutta ja aikaansaa saumakohdan lujuuden lisääntymisen. Alustan lämpötilan tulisi olla valettavaa betonia korkeampi valun alkaessa. Tämä osaltaan parantaa tartuntaa alustaan. (VTT 2006, 10.)

Sillan keskivaiheille tulevan valusauman tulee olla pystysuora, eikä pinnassa saa olla irtonaista kiviainesta. Suositeltavaa on käyttää tartunta-ainetta ainakin silloin, jos alustaa ei ole vesipiikattu kuten Kuvan 41. tilanteessa. Tartunta-aine levitetään karkealla harjalla (esim. katuharjalla) harjaamalla alustaan juuri ennen betonin levitystä. Tartunta-aine ei saa ehtiä kuivua pintaan, mutta mikäli näin käy, niin käsittely uusitaan. (SILKO 2.240 2007, 7.)

Tartunta-aineena voidaan käyttää joko sementtipohjaista käsittelyä tai muovipohjaista emulsiota. Muoviemulsioita voidaan käyttää joko sellaisenaan tai sekoittamalla betonimassan sekaan. Yleensä riittävä tartunta saavutetaan muotoiluvalussa

käytettävällä betonimassalla tehdyllä harjauksella alustaan. Pääasia on, että alusta on puhdas kaikesta tartuntaa heikentävästä aineksesta, sopivan kostea ja oikean lämpöinen. (VTT 2006, 10.)

Hyvän tartunnan edellytyksenä on saumakohdan hyvä tiivistys. Valun paksuuden ollessa ohut, tiivistys tehdään usein laudalla pinna tasauksen yhteydessä. Saumakohdan tiiviiksi saaminen edellyttää tällöin notkeaa massaa ja tartuntalaastin käyttöä. Valualueen ollessa iso ja paksumpi, pinnan tasaus ja tiivistäminen suoritetaan tärypalkilla. Valun paksuuden ollessa 100–150 mm, riittää kaksoistärypalkin teho tiivistämään jäykänkin betonin tiiviiksi. Sauvatärytystä ennen tärypalkilla ajoa suositellaan yleisesti betonikerroksen paksuuden ollessa yli 100 mm. Sauvatärytystä suositellaan käytettäväksi myös ohuempien betonikerrosten tiivistämiseen reuna-alueilla, joissa tärypalkin tiivistysteho on rajoitettu. (VTT 2006, 16.)

Betonin valu tehdään kappaleessa 6.2.6 Reunapalkin betonointi esitettyjä ohjeita noudattaen. Betonoitavan alueen reunat ja tippuputkien suppilot muotoillaan niistä annettujen ohjeiden mukaan. Pinnan hierto tehdään koneellisesti heti, kun vesi on lakannut erottumasta ja pinta alkanut kuivua. (SILKO 2.240 2007, 8.)





Kuva 41. Vesipiikatuksen sillankannen muotoiluvalu käynnissä valun paksuus 40-100 mm ja betonissa lisäksi makrokuituja  $2,7 \text{ kg/m}^3$  vähentämässä varhaisvaiheen halkeilua.



Kuva 42. Varhaisjälkihoitoaineen levitys ennen muotoiluvalun hiertoa.

#### 6.3.4 Muotoiluvalun jälkihoito

Jälkihoito aloitetaan ruiskuttamalla varhaisjälkihoitoaine heti kun pinta on saatu tasoitettua. (Kuva 42.) Heti hierron ja pinnan viimeistelyn valmistuttua ruiskutetaan varsinainen jälkihoitoaine. Aineita laimennetaan ja levitetään vähintään niiden tuotekohtaisissa ohjeissa esitetty määrä. (SILKO 2.240 2007, 8.)

Lopuksi valu suojataan vedolta ja suoralta paisteelta. Erittäin hyvä suojaus on routamatoilla peittely (Kuva 43.), jolloin myös lämpö saadaan pysymään valussa ja lämpötilaerot mahdollisimman pieninä. Kastelu voidaan aloittaa seuraavana päivänä ja sitä jatketaan koko jälkihoidon ajan. Kastelulle ei ole tarvetta, jos peittely on tehty huolellisesti ja varmistutaan että kosteus pysyy valussa. Jälkihoitoa jatketaan vähintään 7 vrk tai pidempään mikäli olosuhteet niin vaativat. Kuvassa 44. on esitettyinä valmis muotoiluvalu jälkihoidon jo päätyttyä.





Kuva 43. Routamatoilla peitelty muotoiluvalu, joka lisäksi kasteltiin päivittäin erityäin hankalien olosuhteiden vuoksi.



Kuva 44. Valmis jälkihoidettu muotoiluvalu.

#### 6.4 Reunapalkin muotin ja telineen purku

Reunapalkin tuenta ja muotti voidaan purkaa kokonaan vasta betonin saavutettua vaaditun lujuuden, yleensä 70 % nimellislujuudesta, jonka määrittämisestä on kerrottuna enemmän kappaleessa 6.2.6. Reunapalkin betonointi sivulla 92. Telineen purku joudutaan yleensä tekemään nostokorista sillan kannelta käsin. Harvoin päästään nostot hoitamaan sillan alta. Kannen läpi kannateltu teline on pakko purkaa ennen vesieristyksen tekoa, jotta myös reiät saadaan paikattua ja vesieristettyä. Tämä aiheuttaa omat ongelmansa työjärjestykselle. Muotti voidaan purkaa täysin käsityönä, mutta telineessä tarvitaan nostinta. Jos käytössä olisi kannen alapinnasta kannateltu teline, niin purku voitaisiin suorittaa vaikka vasta eristyksen ja kaiken muun jälkeen.

Telineen purku tehdään nostokorista käsin. Työssä tulee käyttää hyväksyttyjä ja ajallaan tarkistettuja nostovälineitä ja nosturia. Hyväksytty miehistökori, korissa

työskentelevälle turvavaljaat ja koneen kuljettajalla tulee olla jatkuva näköyhteys nostokohteeseen.

## 6.5 Sääsuoja

Sillan eristysalustan tiivistys-, pohjustus- ja vesieristystyö tulee suorittaa sääsuojassa, riippumatta säästä tai vuodenajasta (SILKO 2.813 2018, 6). Ongelmalliseksi käytön kaista kerrallaan tehtävillä korjauksilla tekee se, että kuten kaikki muukin, niin myös sääsuoja tehdään yhdelle kaistalle kerrallaan. Haasteita aiheuttaa etenkin keskitien puoleisen seinän kiinnityksen rakentaminen. Toisaalta itse sääsuoja on varsin kapea, kun kerralla tehtävä kaista on vain noin 4,5 m levyinen. Sääsuojan purku, tarvikkeiden pois kuljetus tai varastointi työmaalla sekä uudelleen kasaus nostavat kustannukset kaksinkertaiseksi siihen nähden että tehtäisiin koko silta kerralla.

Oman haasteensa aiheuttaa tienpuoleisen reunan saaminen vesitiiviiksi jälkimäistä kaistaa korjattaessa, jolloin sääsuoja on tien keskilinjaan nähden yleensä kannen kaatoihin nähden alarinteen puolella. Ajankohta on muutenkin syksy ja sateet hyvin yleisiä. Ajoradalta sääsuojaan valuva vesi pilaa hyvin nopeasti kuivumisaikataulut. Tästä vuoksi sääsuojan kiinnitys ajorataan pitää saada vesitiiviiksi tai hoidettua vesi pois jollain muulla tavalla. Sääsuoja voidaan rakentaa puurunkoisena (Kuva 45.) tai alumiinirakenteisena vuokrattavana telttana. (Kuva 46.) Sääsuojasta vaaditaan suunnitelmat ja lujuuslaskelmat. Näin aiheesta sanoo (Infra RYL 2008, 196.)

Sääsuoja mitoitetaan, pystytetään ja kiinnitetään siten, että se kestää tuulen, sateen ja lumen aiheuttaman kuormituksen murtumatta. Sääsuojaa ei saa tukea eristysalustaan kohdista, joissa eristystyö on käynnissä.

Sääsuoja on vesitiivis kaikissa sääolosuhteissa koko alueellaan ja ulottuu reunapalkin ulkopuolella vähintään reunapalkin pystypinnan puoliväliin asti ja sen esteettömän korkeuden kannesta mitattuna sääsuojan sisäpuolella tulee olla vähintään 2,5 m. Sääsuoja ulottuu sillan päästä päähän, kun sillan kokonaispituus on enintään 40 m. Sitä pitemmillä silloilla voidaan käyttää siirrettävää sääsuojaa.



Sääsuojaa rasittaa tuulen lisäksi ohi kulkevan liikenteen aiheuttama hakkaava ilmavirta. Sen vuoksi etenkin liikenteen puoleisen seinän pressut tulee yrittää saada mahdollisimman kireälle, jolloin pressu pääsee mahdollisimman vähän hakkaamaan. Tien puolella tulee muutenkin huomioida, ettei rakenteessa ole mitään ulokeita ajoradalle, kuten esim. räystästä.

Sääsuojan teko ennen kannen muotoiluvalua olisi hyvin suositeltavaa tasaisempien valu olosuhteiden aikaansaamiseksi, mutta ei pakollista. Ainoastaan vesieristystyö pitää tehdä sääsuojassa, mutta kyllähän sääsuoja kannattaisi hyödyntää olosuhteiden hallinnassa myös valun aikana, mikäli se työteknisesti ja aikataulullisesti on mahdollista.

Ensimmäisen kaistan osalta ajankohta on yleensä alkukesä, jolloin myös olosuhteet ovat yleensä paremmat kuivumiselle. Jälkimmäisen kaistan kohdalla on yleensä elo-syyskuu, jolloin kuivumisen nopeuttamiseksi joudutaan yleensä käyttämään lämmitystä tai kuivuria sääsuojassa. Kuivuminen on tehokasta, kun ilman suhteellinen kosteus saadaan laskettua alle 50 %. Lämmityksestä aiheutuu nopeasti yllättävän suuret kustannukset kun 4 viikkoakin lämmitetään sääsuojaa.



Kuva 45. Puurunkoinen sääsuoja.





Kuva 46. Vuokrattava alumiinirunkoinen sääsuoja.

#### 6.5.1 Sääsuojassa muotoiluvalun kuivumisen aikana tehtävät työt

Muotoiluvalun pinnasta poistetaan mahdollinen jälkihoitoaine ja betoniliima sinkotai hiekkapuhaltamalla heti kun jälkihoito voidaan lopettaa (7-14 vrk valusta). Tällä nopeutetaan merkittävästi valun kuivumista. Reunapalkin telineen kiinnikkeiden reiät valetaan umpeen juotosbetonilla. Kaikki kannen valun epätasaisuudet oikaistaan sekä kannen ja etumuurin saumassa valun aikana olleet varaukset poistetaan. Muutenkin kaikki valmistellaan vesieristyksen tekoa varten. Valusta kannattaa mitata kosteus aikaisintaan noin kolmen viikon kuivumisen jälkeen. Kuivuusvaatimukset eristysalustalle löytyvät sivulta 110 (Taulukko 7.)

### 6.5.2 Kaidetolppien juurivalut

Kaidetolppien juurikakut on hyvä valaa sääsuojassa muotoiluvalun kuivumisen odottelun aikana. Juurivaluissa käytettävä massa tulee olla (SILKO 3.231 2019, 5.) hyväksytty tuote.

Juurikorokkeen suurin sallittu korkeus on 70 mm. (Infra RYL 2008, 228.) Juurikorokkeen muodon ja koon tulee olla Väyläviraston tyyppipiirustuksen R15/DK H2-12 mukainen. Oikean muotoisia kaidetolpan juurivaluja esitettynä Kuvassa 47.

Yli 0,10 mm halkeamat juurikorokevaluissa imeytetään Väyläviraston hyväksymällä imeytys aineella. (Infra RYL 2008, 228). Toinen vaihtoehto on purkaa ja valaa ne uudelleen, kuten tehdään vajaaksi jääneiden valujen kohdalla.



Kuva 47. Kaidetolppien juurikakut valettuna.

## 6.6 Sillan kannen vesieristys kermieristysenä

Tänä päivänä betonikantisten siltojen eristystapa on lähes poikkeuksetta kumibitumikermieristys, jonka eristysalusta tiivistetään epoksiliuoksella tai käytetään suojabetonia. 1970-luvulle asti vesieristeenä käytettiin jutekankaita bitumilla sidottuna. Vuosina 1967-1985 jutekangas korvattiin lasikuitukankaalla. Molempien pitkäaikaiskestävyys oli heikko ja vuonna 1985 siirryttiin käyttämään kumibitumikermiä. (SILKO 2.831 2018, 4.)

Aluksi kermieristys suojattiin 50 mm paksuisella suojabetonilla, mutta siitä luovuttiin ylimääräisen rakenteiden kuormituksen vuoksi. Sen aikainen betoni ei kestänyt sää- ja suolarasitusta ja rapautuessaan rikkoi alla olevan eristyskermin ja päällysteen. Suojabetonin käytöstä luovuttiin ja tästä aiheutui kermieristeen kuplimisia, kun eristeen alla olevasta betonista höyrystyvä kosteus sai eristyskermin kuplimaan. Tämä rikkoi yläpuolisen päällysteen. Sen seurauksena alettiin käyttämään epoksitiivistystä eristeen alla. Tiivistyksellä on tarkoitus estää alustasta höyrystyvän kosteuden pääsy eristeen alle. Onnistunut epoksitiivistys suojaa kantta myös muilta rasituksilta, kuten suolalta. Tämäkään ei ole kokonaan poistanut kuplimisongelmaa ja suojabetonia on alettu taas jossain määrin käyttää kermieristeen päällä. (RIL-179 2018, 354.)

Mastiksieristyksessä käytettiin vuoteen 1983 asti bitumimastiksia, joka korvattiin tuolloin kumibitumimastiksilla. Nestemäisenä levitettäviä eristyskermiä on alettu käyttää vuonna 1979. (SILKO 2.831 2018, 4.)

### 6.6.1 Suojabetonin käyttö

Nykyisin suojabetonin laatuvaatimukset sää- ja suolakestävyysvaatimukset suhteeseen ovat korkeat. Suojabetonin paksuus on 50 mm  $\pm$  10 mm. Betoni on teräskuitubetonia, jossa kuitujen määrä 50 kg/m<sup>3</sup>. Pakkaskestävyysvaatimus on P50, Lujuus C35/45. Lujuuden on oltava vähintään 70 % nimellislujuudesta ennen asfaltointia. (SYL 6 2001, 29.) Kaksinkertainen epoksitiivistys on ensisijainen tapa eristysalustan tiivistykseen betonikantisella sillalla. (SILKO 2.811 2018, 6).

## 6.6.2 Eristysalustan laatuvaatimukset

Pinnan tasaisuuden on täytettävä seuraavat (Infra RYL 2008, 193.) mukaiset vaatimukset:

Päällysrakenteen eristettävän yläpinnan on täytettävä ohjeen By 40 Betonirakenteiden pinnat, luokitusohjeet kohdan 4.1.3 puuhierretyle AA-luokan pinnalle asetetut vaatimukset. Käyryyttä ja aaltoilua koskevat vaatimukset ovat kuitenkin seuraavat: enintään 3 mm 1,5 metrin matkalla ja enintään 2 mm 0,5 metrin matkalla. Lisäksi edellytetään, että vesi ei saa jäädä seisomaan lätäköiksi pinnoille. Värivaihtelua koskevaa vaatimusta ei sovelleta. Ellei pinta täytä vaatimuksia, se korjataan tilaajan hyväksymällä tavalla esim. hiomalla kohoumat pois tai täyttämällä kuopat juotoslaastilla tai -massalla (ks. SILKO-ohjeet 3.231 Paikkausaineet ja 2.231 Paikkaus ilman muotteja).

Pinnan halkeilun osalta vaatimukset ovat (Infra RYL 2008, 193.) mukaan seuraavat:

Jännitetyissä rakenteissa ja reunapalkin yläpinnassa ei sallita 0,1 mm suurempia halkeamia. Muissa pinnoissa sallittu halkeamakoko on 0,2 mm. Leveydeltään suurimman sallitun halkeamaleveyden suuruisten tai tätä pienempien halkeamien yhteenlaskettu pituus yhden neliömetrin alueella saa olla enintään 0,5 m. Leveydeltään alle 0,10 mm halkeamia ei tarkastelussa oteta huomioon. Halkeaman pituus mitataan ohjeen By 40 Betonirakenteiden pinnat liitteen 3 mukaisesti. Rakenteen läpi ulottuvat vuotavat halkeamat sekä muut kuin sallitut halkeamat injektoidaan tai imeytetään kapillaarisesti Tiehallinnon käyttöönsä hyväksymällä aineella ja menetelmällä.

(Infra RYL 2008, 198.) mukaan eristysalustan tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

Eristettävä pinta on kuiva ja puhdas ennen eristämistä. Tartunnan varmistamiseksi eristettävästä pinnasta poistetaan sementtiliima, jälkihoitoaine, liuottimet, öljy, rasva ja muut epäpuhtaudet sinko- tai hiekkapuhalluksella ja pinta imuroidaan ennen eristystä. Puhdistusaste on normaalisti suihkupuhdistettu betonipinta, jolloin betonipinnasta on irronnut sementtiliimaa siten, että paljaiden kiviainesraepintojen osuus on vähintään 25 % eristettävästä pinnasta.

Eristysalustan betonipinnan karheus (makrokarheuden) ennen epoksi-käsittelyä ja eristämistä on välillä 0,3...1,2 mm. Eristysalustan pinnan karheus mitataan lasihelmimenetelmällä (SFS-EN 13036-1) jokaista alkavaa 500 m<sup>2</sup> kohden kolmesta kohdasta siltakantta. Vaatimusrajaa (1,2 mm) karheampi betonikannen pinta korjataan hyväksytyllä tasoitteella. Tasoitteella käsitellyn kohdan tulee olla täysin kovettunut ja täyt-

tää eristysalustan enimmäiskosteusvaatimus ennen eristysten asentamista. Jos pinnan karheus on alle 0,3 mm, pinta karhennetaan sinkotai hiekkapuhalluksella siten että se täyttää yo. vaatimuksen.

Alustan kosteuden osalta vaatimukset ovat (Infra RYL 2008, 199.) mukaan seuraavat:

Betonisen eristysalustan pintakerroksen kosteus mitataan absoluuttisena kosteutena (menetelmä VTT-2650) tai suhteellisenä kosteutena (menetelmä VTT-2649). Kosteuspitoisuus saa olla eristystöitä aloitettaessa enintään Taulukon 7. mukainen, paitsi kun kannen pinta-ala on alle 100 m<sup>2</sup> ja rakennepaksuus on alle 400 mm. Tällöin pinnan kosteutta ei yleensä todeta mittauksin, vaan betonin annetaan kuivua jälkihoidon päättymisen jälkeen vähintään 3 viikkoa ennen eristystöiden aloittamista.

Betonin suhteellisen kosteuden mittaustulos ja ainetta rikkomattomalla menetelmällä saatu kosteuden mittaustulos varmistetaan aina vähintään yhdellä betonin pinnasta irrotetun näytteen absoluuttisen kosteuden mittauksella.

Eristysalustan kosteus määritetään aina vähintään kolmesta kohdasta kannella. Jos kannen pinta-ala on yli 500 m<sup>2</sup>, lisätään mittauskohtia yksi alkavaa 500 m<sup>2</sup> kohti.

Taulukko 7. Eristysalustan suurin sallittu kosteus ennen eristystöiden aloitusta. (Infra RYL 2008, 199.)

Materiaali	Eristysalustan suurin sallittu kosteus	
	Absoluuttinen kosteus (VTT-2650) m-%	Suhteellinen kosteus (VTT-2649) %
Kauttaaltaan kiinnitetty kermi, nestemäisenä levitettävä eristys tai epoksitiivistys	5,0	93
Paineentasauskermi tai kumibitumimastiksi	6,0	96



### 6.6.3 Eristystyönaikaiset olosuhdevaatimukset

Eristystyön aikana olosuhteiden tulee olla (Infra RYL 2008, 199.) mukaan seuraavat:

Eristystyön aikana ilman suhteellinen kosteus saa olla enintään 85%. Kastepistelämpötila määritetään eristuksen asennustyön alkaessa ja sitä seurataan eristystyön aikana, jolloin eristettävän pinnan lämpötilan tulee olla vähintään 3 °C ilman kastepistelämpötilan yläpuolella. Alhaisin eristystyön aikainen alustan pintalämpötila on kermi- ja polyuretaanieristyksillä aina vähintään + 5 °C sekä mastiksieristyksillä vähintään + 2 °C.

Käytännössä vaatimus tarkoittaa sitä, että eristys tehdään laskevaan lämpötilaan. Se voidaan toteuttaa esimerkiksi niin, että lämmitetään sääsuoja aluksi yllilämpöiseksi ja ennen eristystyön aloitusta sammutetaan lämmitys tai sitten tehdään eristystyö illan viilentyessä. Kunhan samalla varmistutaan, että olosuhteet pysyvät muiltakin osin vaatimuksen mukaisina.

### 6.6.4 Alustan käsittely kumibitumiliuoksella tai tiivistys epoksilla

Eristettävä betoninen kansilaatta esikäsitellään aina vedeneristyksen hyvän tartunnan aikaansaamiseksi ja betonin sisältämän kosteuden aiheuttaman rasituksen vähentämiseksi tai sen aiheuttaman kuplimisen estämiseksi. Eristettävä betonikansi joko pohjustetaan kumibitumiliuoksella (ainemenekki 0,2...0,3 kg/m<sup>2</sup>) tai tiivistetään epoksilla. Kumibitumiliuos tai tiivistysepoksi valitaan ao. mukaan. (Infra RYL 2008, 199.)

Betoninen kansilaatta tiivistetään paksuilla laattasilloilla (rakennepaksuus  $\geq 400$  mm) koko kansilaatan osalta epoksilla, kun ainakin yksi seuraavista ehdoista on voimassa:

- pääteiden ja niiden ramppien (so. valtatie, moottoriliikennetiet, moottoritiet) silloilla tai
- sillan liikennemäärä (KVL) on vähintään 3000 ajoneuvoa/ vrk
- siltakannelle levitetään liukkaudentorjuntasuolaa tai

- silta on suolattavan tien ramppisilta tai
- silta sijaitsee liikennevalojen läheisyydessä tai
- sillan pituuskaltevuus on vähintään 4 %. (Infra RYL 2008, 199.)

Muilla paksuilla betonikansilla (ml. teräsbetonipalkkisillat) rakennepaksuuden ollessa  $\geq 400$  mm käytetään joko epoksitiivistystä tai tilaajan erikseen antamalla luvalla paineentasauskermiä, jolloin eristysalusta pohjustetaan kumibitumiliuoksella. Epoksitiivistys tehdään tällöin paksuilla laatoilla koko kansilaatan osalle ja teräsbetonipalkkisilloilla sille kansilaatan osalle, missä kansilaatan paksuus on  $\geq 400$  mm sekä palkkien kohdilla leveydelle (= palkki +  $\geq 300$  mm palkin molemmin puolin). Ohuemmilla betonikansilla (rakennepaksaus  $< 400$  mm) betonikansi pohjustetaan kumibitumiliuoksella tai käytetään epoksitiivistystä. (Infra RYL 2008, 199.)

#### 6.6.5 Epoksitiivistys

Kannen vedeneristys voidaan aloittaa, kun kappaleiden 6.5, 6.6.2 ja 6.6.3 edellytykset ja olosuhteet täyttyvät. Ennen aloitusta pidetään eristysalustan vastaanottotarkastus, jossa tarkistetaan eristysalustan tasaisuus 1500 mm pituisella oikolaudalla, karheus lasihelmikokeen avulla ja absoluuttinen kosteus  $\leq 5$  %. Käytettävän tiivistysepoksen on oltava SILKO hyväksytty. Eristysalusta puhdistetaan huolellisesti imuroimalla tai paineilmalla puhaltamalla ennen eristystyön aloitusta. Tiivistys- ja eristystyön aikaiset olosuhteet mitataan ennen työn aloitusta ja koko työn keston ajan 2 h välein. Mittaustuloksista pidetään pöytäkirjaa. Epoksitiivistys tehdään lastalla levittämällä ja tiivistämällä telaamalla. (SILKO 2.813 2018, 6.) Kuvassa 48. on esitettyä valmis epoksitiivistys eräällä korjattavalla sillalla.

Epoksitiivistys tehdään kahtena kerroksena valmistajan ohjeita noudattaen. Epoksin levitysmäärä on seuraava: Ensimmäinen epoksikerros  $300\text{--}500$  g/m<sup>2</sup> + sirotehiekkä (pinnan huokoisuudesta ja karheudesta riippuen) ja toinen epoksikerros vähintään 600 g/m<sup>2</sup>. Valmis epoksitiivistyskerros on vesitiivis. Vesitiiviin epoksitiivistystyksen eristysvastus on joka mittauksessa vähintään 500 M $\Omega$  (menetelmä SFS-EN 1542). Epoksitiivistystyksen ja alustan välinen tartuntalujuus on joka kohdassa vähintään 1,0 N/mm<sup>2</sup> ja keskimäärin 1,5 N/mm<sup>2</sup> (menetelmä SFS-EN 1542). (Infra RYL 2008, 201.)

Epoksin kokonaismenekki pitää edellisen mukaan olla vähintään  $0,9 \text{ kg/m}^2$ . Käytöstä kokonaismäärästä työtä valvovan työnjohtajan on helppo nopeasti laskea, onko epoksia levitetty riittävästi.



Kuva 48. Kannen valmis epoksitiivistys.

#### 6.6.6 Kermieristys

Epoksitiivistyksen kuivuttua (yleensä 1-2 vrk kuluttua) suoritetaan kermieristys noudattaen seuraavia (Infra RYL 2008, 201.) mukaisia laatuvaatimuksia:

Epoksitiivistetty pinta puhdistetaan huolellisesti ennen kermieristystä. Eristys suoritetaan viimeistään viikon sisällä epoksitiivistyksestä, eikä epoksitiivistetyillä pinnoilla

liikuta ilman suojausta. Kumibitumin lämmityksessä käytettävät sulatuspadat ovat tyypiltään Väyläviraston hyväksymiä, sekoittimella varustettuja, niiden termostaattit ovat kunnossa ja padat on puhdistettu vanhasta bitumista ennen työn aloitusta. Oikea levityslämpötila kumibitumille on + 180...210 °C eikä tuota maksimilämpötilaa saa ylittää padassa sekoitettaessa. Ylikuumennus saattaa heikentää kumibitumin laatua. Sulatuspadoista ja paketeista otettujen näytteiden sulamispisteiden erotus ei saa olla yli 15 °C.

Eristys tehdään siltakohtaisten laatuvaatimusten mukaisella kermirakenneyhdistelmällä. Kermien asennus tehdään sillan pituussuuntaan ja asennus aloitetaan korkeusasemaltaan alimmasta kohdasta (Kuva 49). Kermit limitetään vähintään 100 mm pituussuunnassa (sivusauma) ja poikkisuuntaan (päätysauma) vähintään 150 mm. Kermien jatkokset porrastetaan eli vierekkäisiä ei jatketa samassa kohdassa. Päällimmäisen kermin jatkos sijoitetaan eri kohtaan alemman pohjimmaiseen kermiin nähden vähintään 100 mm. Kermin alle ei saa muodostua ilmataskuja. Kaikki kermin saumat ovat tiiviitä ja kokonaan alustaan kiinnittyneitä eli kermit on telattava kauttaaltaan alustaansa.

Aluskermin tartuntalujuuden on oltava eri lämpötiloissa Taulukon 8. mukainen kaikissa kermieristysrakenteiden käyttöluokissa yli 100 m<sup>2</sup> sillankansilla. Taulukon arvoista voidaan vähentää 0,10 N/mm<sup>2</sup>, mikäli irtoaminen tartuntavetokokeessa tapahtuu kiinnityksessä käytetyn bitumin sisäisenä koheesiomurtumana ja eristystyön päätyttyä kiinnitysbitumista otetut näytteet täyttävät Siltojenvedeneristysten SILKO-hyväksyntätutkimusohjeen Liitteen 2 Taulukon 2. vaatimukset. Jokaisen yksittäisen mittaustuloksen kohdalla lasketaan montako % tulos on taulukon 8 mukaisesta vaatimuksesta. Jos kaikista tuloksista laskettu keskiarvo alittaa 60 % joudutaan eristys poistamaan ja tekemään uudestaan.

Alle 100 m<sup>2</sup> kannella kermin tartunta alustaan tutkitaan käsin vetämällä ja tartunta on riittävä, kun kermikaista ei irtoa tai irtoaa niin, että yli puolelle irtoamiskohdan pinta-alasta jää bitumia kiinni alustaan. Mikäli vaatimus ei täyty, niin uusitaan eristys alustasta irti olevalta osin. Kermin kupliminen on korjattava, kuten myös ylikuumenemisen takia vaurioituneet tai poimulle jääneet kermit poistetaan ja uusitaan.

Reunapalkin sisäsyrrään ja siitä 250 mm leveydelle kanteen tehdään aina kaksinkertainen kumibitumisively (KB100) 2 x 1,5 kg/m<sup>2</sup> SILKO hyväksytyllä kumibitumilla. Valmis eristys tulee suojata viikon kuluessa eristyksestä asfaltin suojakerroksella tai suojabetonilla. (Infra RYL 2008, 209). Siipimuurien näkyvissä oleviin sisäpintoihin tehdään myös kaksinkertainen kumibitumisively (KB100) 2 x 1,5 kg/m<sup>2</sup>.

Taulukko 8. Kermieristyksen tartuntalujuusvaatimus siltakannella (yli 100 m<sup>2</sup>). (menetelmä SFS-EN 13596, väliarvot interpoloidaan).

Eristysalustan pintalämpötila (°C)	Tartuntalujuusvaatimus (N/mm <sup>2</sup> )
5	1,06
6	1,00
7	0,95
8	0,90
9	0,85
10	0,81
11	0,77
12	0,73
13	0,69
14	0,65
15	0,62
16	0,58
17	0,55
18	0,52
19	0,50
20	0,47
21	0,45
22	0,42
23	0,40
24	0,38
25	0,36





Kuva 49. Kumibitumikermieristystyö käynnissä kannen alimmaisesta kohdasta aloittaen.

## 6.7 Sääsuojan purku

Sääsuoja puretaan heti eristyksen valmistuttua. Purussa on huomioitava, ettei vahingoiteta kannen eristystä. Eristyksen päällä liikkumista millään koneilla tulee välttää. Jos on pakko esim. sääsuojan osien noston takia päästä ajamaan sillalle, on

eriste suojattava vaneri levyillä tai vastaavilla. Mikäli sääsuoja on puurakenteinen, on oltava erittäin varoivainen, ettei tiputeta naulaista puutavaraa eristyksen päälle.

## **6.8 Päätyjen täyttö ja päällystyksen valmistelu**

Päätyjen täyttö voidaan tehdä samaan aikaan sääsuojan purun kanssa. Siirtymälaattoja on alettu yleisesti käyttää silloissa vasta 1980-luvun lopulla (Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeiköllä 1994, 10). Sillan päätyjen painuminen on aina ongelmana silloissa, joissa ei ole siirtymälaattoja. Mitä enemmän päätyä on jouduttu avaamaan, sitä todennäköisemmin se myös painuu. Täyttö tulee tehdä ohuissa maksimissaan 300 mm kerroksissa vähintään 400 kg jyrällä veden kanssa huolellisesti tiivistäen. Kannen päädyn vesieriste on syytä suojata terävien kivien osumilta ja varottava kolhimasta sitä jyrällä tai kaivinkoneen kauhalla. Toimivaksi havaittu suojaus on päätyä vasten pystyyn asennettu 30-50 mm paksu XPS-eristelevy. Päädyn täyttö tehdään suunnitelmien mukaisella kiviaineksella. Usein suunnitelmissa ei oteta kantaa täyttöön. Tällöin täyttö tehdään jakavan kerroksen murskeella. (Infra RYL 2008, 94). Silloinkin pintaan kannattaa jyrätä ohut kerros hienompaa mursketta, jolla pinnan tasoitus onnistuu helpommin. Kuvassa 50. on kansi eristettynä, päädyt täytettyinä, sääsuoja purettuna ja kaista valmiina asfaltointiin.



Kuva 50. Kansi valmiina asfaltin levitykseen.

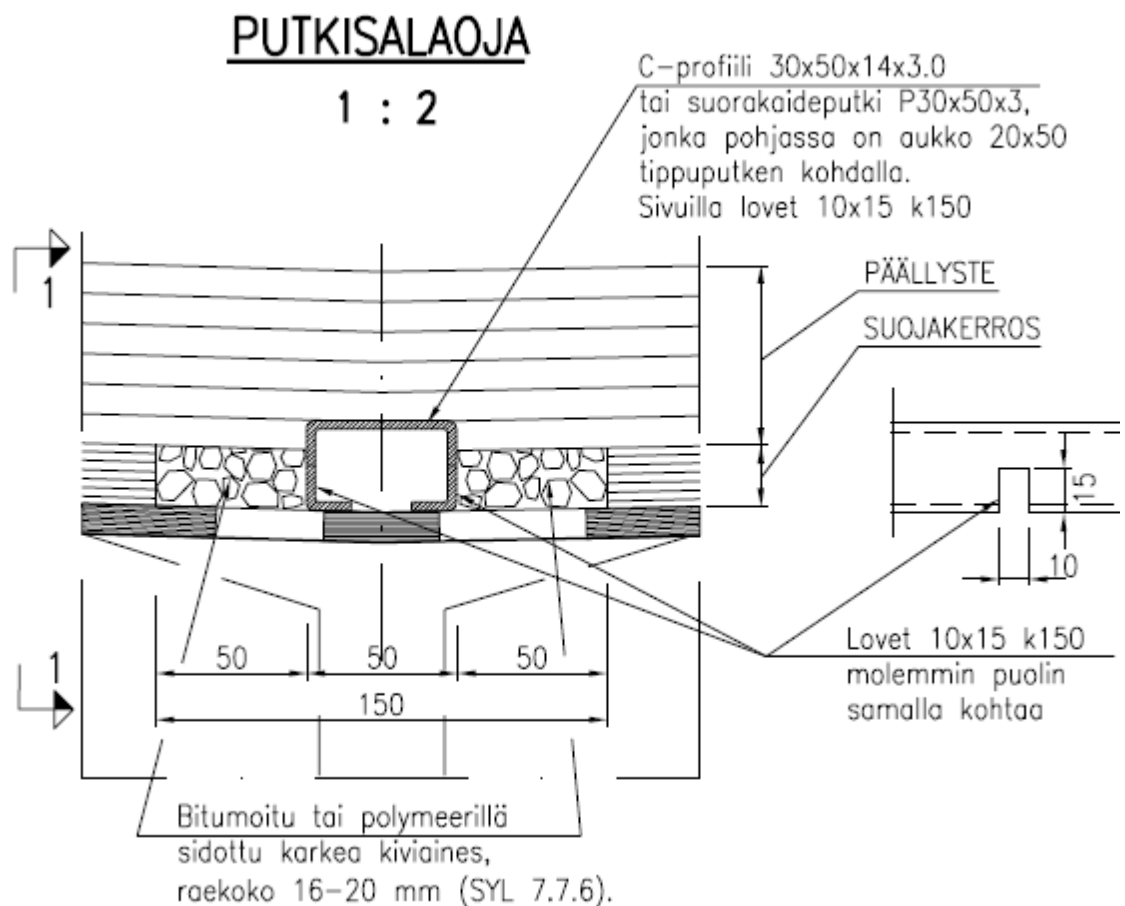
### 6.8.1 Päällistyksen valmistelu

Valmistautumiseen kannen ja tulopenkereiden asfaltointiin kuuluu tulopenkereiden kallistuksien ja korkeusaseman määrittäminen ja vertailu tulevaan kannen pintaan. Jos korkeuksissa tai kallistuksissa on ristiriitaa, joudutaan tulopenkereiden asfalttia usein jyrsimään suunniteltua pidemmältä matkalta, että kallistuksien ero saadaan tasattua loivemmin. Kannelle merkitään TSV-linja ja reunalinja, jonka yli asfaltti ei saa levityksessä tulla, että vesieristyksen limitys onnistuu toista kaistaa tehdessä. Limitysvaraa kannattaa jättää päällimmäiseen eristekermiin nähden noin 200 mm.

Lisäksi merkitään liikuntasauaman paikka reunapalkkiin siten, että se on nähtävillä päällistyksen jälkeenkin. Tämä koskee lähinnä massaliikuntasaumoja, joiden paikallistaminen on vaikeaa, ellei jopa mahdotonta asfaltin alta, jos niitä ei ole merkitty tai mittaamalla pystytty selvittämään paikkaa. (Infra RYL 2008, 212.)

Kannella tehdään laudasta varaus (Kuva 55.) tippuputki linjalle reunasalaojaa varten. Samalla tarkistetaan, että jokainen tippuputki on auki eristyksen jäljiltä. Sala-

ojana käytetään ensisijaisesti putkisalaojaa esim. C-profiilia 30x50x14x3, jonka materiaali on SFS-EN 10088–1.4301 standardin mukainen ruostumaton teräs. (Kuva 51.) Varauksen leveyden tulee olla 150 mm. Jos kannelle tuleva asfalttikerros on niin ohut, ettei profiili kunnolla mahdu rakenteeseen voidaan reunasalaoja tehdä mattosalaojana. (SILKO 2.613 2006, 3.)



Kuva 51. C-profiilin putkisalaoja.

## 6.9 Sillan asfaltointityö ja ajoratamerkinnyt

Kermieristyksen päällä autolla ajaminen on kielletty ennen eristyksen suojakerroksen tekoa. Pakon sanelemana voidaan ajaa levittämällä vanerilevyt ajoneuvon pyörien alle. Ajoneuvoa ei saa seisottaa eristyksen päällä. (Infra RYL 2008, 202.)



### 6.9.1 Tulopenkereiden asfaltin jysinnät

Ennen varsinaista asfaltin levitystä joudutaan jysimään vanhaa asfalttia pois sillan tulopenkereiltä (Kuvat 52. ja 53.), että uusi asfaltti saadaan saumattomasti ja heitotomasti istumaan sillan ja penkereiden välille. Jysintä määrät on esitetty suunnitelmissa, mutta joskus voidaan joutua jysintöjä tekemään suunniteltua pidemmältä matkalta, että päästään heitottomaan lopputulokseen. Tulopenkereiden pinnanmuoto saattaa olla tehtynä erilaisilla kallistuksilla kuin sillalle on suunniteltu. Tällöin joudutaan myös kallistuksien muutokset tekemään pidemmällä matkalla. Edellä mainittujen syiden vuoksi, tulopenkereiden muoto ja korkeusasema tulee selvittää ennen päällystä, että osataan tehdä mahdolliset korjaavat toimet ajoradan korkeudelle ja muodolle päällysteellä.



Kuva 52. Vanhan asfaltin jysintä suoraan auton lavalle edellyttää ajamista sillan kannelle.





Kuva 53. Tulopenkereen asfaltti jyrstynä ennen sillan asfaltointia.

### 6.9.2 Suoja-asfalttikerros

Sillan asfaltointityön aikana alustan lämpötilan on oltava vähintään  $+5^{\circ}\text{C}$ . Asfaltointia ei voida tehdä sateella, eikä pinnan ollessa märkä tai jäinen. Sillan asfaltoinnissa ongelmallinen on alimmainen suoja-asfaltti kerros, jota levitettäessä joudutaan ajamaan eristekermin päällä levittäjällä. (Kuva 54.) Kermieristyksen päälle tulevassa suoja-asfalttikerroksessa käytetään joko AB 5/50  $\text{kg/m}^3$  tai AA 5/50  $\text{kg/m}^3$  asfalttia. Kumibitumimastiksieristyksen suojakerroksena käytettävä asfaltti on AB 11/60  $\text{kg/m}^3$ . Suoja-asfalttikerroksen tulee olla vähintään 20 mm paksu joka kohdasta. Pinnan suurin sallittu epätasaisuus sillan pituus- ja poikkisuunnassa on 4 mm 3 m matkalla. Turhaa ajoa sillalla on vältettävä eikä levityksessä saa käyttää tela-alustaista levitintä. Tiivistys tehdään molemmilla valsseilla vetävällä, enintään 4 tonnin painoisella valssijyrällä ilman tärytystä. Ennen ajoa sillalle on syytä tarkistaa, ettei kannella ole kiviä tai muuta epäpuhtautta, jotka voisivat renkaan alle joutuessaan rikkoa eris-



tekermin. Suoja-asfalttikerroksen massan lämpötilan tulee olla 130-150 °C. Mastiksieristuksen suoja-asfalttikerros tulee levittää kolaten käsityönä aina, jos eristysten lämpötila on +20 °C tai yli. Myös kermieristuksen suoja-asfaltin levitys on hyvä tehdä, kun aurinko ei ole ehtinyt lämmittämään kermiä esim. varhain aamulla. Suoja-asfaltti levitetään ainoastaan sillalle. (Infra RYL 2008, 209.)



Kuva 54. Suoja-asfaltti AA 5/50 kerroksen levitys käynnissä.





Kuva 55. Suoja-asfaltti levitettynä ja tippuputki linjalle tehty varaus laudasta reu-  
nasalaojaa varten.

### 6.9.3 Toimet asfaltin suojakerroksen levityksen jälkeen

Suoja-asfaltin levityksen jälkeen poistetaan reunasalaojan varauksesta laudat ja asennetaan tippuputkien päälle suojaverkot ja salaojakanavat paikoilleen varaukseen. Kanavan ympäristön tyhjä osa varauksesta täytetään bitumissa pyöritellyllä 16-20 mm kivillä eli ns. kuukivillä. Reunapalkin ja seuraavien asfalttikerrosten väliin jätetään kumibitumisaumalle 20 mm levyinen varaus, joka tehdään esim. laittamalla 20x95 mm lauta varaukseksi reunapalkkia vasten.

Pienellä sillalla myös asfaltin pintakerrokset ehditään levittämään yleensä samana päivänä, kun edellisessä kappaleessa mainituissa valmistelemissä töissä ei kulu aikaa muutamaa tuntia kauempaa. Pohjakerros ehtii sopivasti sillä välin hieman jäähtyä, jolloin se ei lähde seuraavaa kerrosta levitettäessä eristekerman kanssa rullautumaan levittimen mukana aivan niin herkästi. Isommilla silloilla kannattaa pintakerroksien levitys jättää suosioilla seuraavalle päivälle.

### 6.9.4 Sidekerros

Seuraavaksi levitetään sidekerros, joka on yleensä AB 11/70 kg/m<sup>3</sup> tai AB 16/90 kg/m<sup>3</sup>. Sidekerrosta levitettäessä pitää huolehtia, ettei reunasalaoja pääse nousemaan paikoiltaan ja varoa alimman suojasfaltti kerroksen rullautumista levittimen mukana. Sidekerros levitetään myös auki kaivettujen päätyjen osuudelle.

### 6.9.5 Kulutuskerros

Heti sidekerroksen jälkeen voidaan levittää kulutuskerros, joka on yleensä AB 16/120 kg/m<sup>3</sup>. Kulutuskerros levitetään sillan ja päätyjen lisäksi myös jyrksyille tulopenkereille. (Kuva 56.)



### 6.9.6 Asfaltoinnin laatuvaatimukset

Kaikki siltapäällysteessä silmin havaittavat massalajittumat ja halkeamat korjataan heti työn aikana. Suurin sallittu epätasaisuus on 4 mm 3 m matkalla oikolaudalla mitaten. Päällysteeseen ei saa jäädä jyräysjälkiä, aaltoja eikä muita haitallista värinää ajoneuvoihin aiheuttavia epätasaisuuksia. Uuden päällysteen alkusauma saa olla enintään 3 mm uralla. Viettokaltevuus ja tasaisuus tulee olla sellainen, että vesi ei muodosta lätäköitä ajoradalle. Päällysteellä korjataan sillan taipumasta ja hiipumasta aiheutuneet kannen muotovirheet ja ennakkokorotukset. (Infra RYL 2008, 212.) Niin sanottuja lentäviä lähtöjä ei saa tehdä vaan uusi asfaltti tehdään aina laatikkojyrsittyyn asfalttiin. (Kuvat 57. ja 58.) Lentävällä lähdöllä tarkoitetaan ilman jyrsintää tehtävää päällystyksen aloitusta vanhan asfaltin päältä.



Kuva 56. Asfaltin kulutuskerroksen levitys penkereelle ja sillalle.





Kuva 57. Vanhan ja uuden asfaltin sauman tekoa.



Kuva 58. Valmis ja hyvin onnistunut vanhan ja uuden asfaltin sauma.

## 6.10 Kannen saumat

Asfaltin jäähtyttyä voidaan poistaa reunapalkin ja asfaltin välisessä varauksessa oleva lauta ja tehdä saumaustyö kuumana levitettävällä (SILKO 3.731 2019, 2.) Saumausmassat tuoteluettelon mukaisella N2-tyypin polymeeri modifioidulla bitumisaumausmassalla.

Ennen massan kaatoa saumaan on sauma puhdistettava paineilmalla ja kuivattava lämmittämällä. Tämän jälkeen uraan sivellään tuotekohtainen tartunta-aine. Saumattavan rakenteen lämpötilan tulee olla vähintään +5 °C saumaustyön aikana ja vähintään 6 tuntia sen jälkeen. Massa sulatetaan toimivalla sekoittimella, termos-  
taatilla ja lämpömittarilla varustetussa sulatuspadassa. Lämpötilan on oltava massan tuotekohtaisten ohjeiden mukainen eikä se saa ylittää +210 °C, ellei tuotekohtaisessa ohjeessa muuta esitetä. (SILKO 2.732 2018, 7.)

Saumamassan levitys tehdään kannusta kaatamalla aloittaen alimmasta kohdasta uraa. Sauma jätetään alkuun hieman vajaaksi ja kaadetaan vasta lopuksi täyteen, kun pohjalla oleva massa on jäähtynyt ja kutistunut. Sauma täytetään päällysteen pinnan korkeudelle. Matalan reunapalkin vieressä massa täytetään vähintään reunapalkin yläpinnan korkeuteen asti. Massa ei saa valua tai roiskua betonipinnoille tai kaiteille, jotka suojataan tarvittaessa esim. levyllä. Saumauksen tarkastus tehdään muutaman päivän päästä silmämääräisesti. Painuneet tai vajaaksi jääneet kohdat jälkitäytetään ja pilalle menneet kohdat tehdään uudelleen. (SILKO 2.732 2018, 7.)

Jos sillalla on korotettu kevyenliikenteenväylä, niin myös sen reunakiven molemmilla puolilla on sauma. (Kuva 59.) Saumauksia tehdessä on varottava sotkemasta reunapalkkia, kaidetta tai mahdollisia reunakiviä massalla. Puhdistaminen on hankalaa.





Kuva 59. Kumibitumisauma sillalla kevyenliikenteenväylän reunakiven molemmilla puolilla.

### 6.10.1 Reunapalkin liikuntasäuma

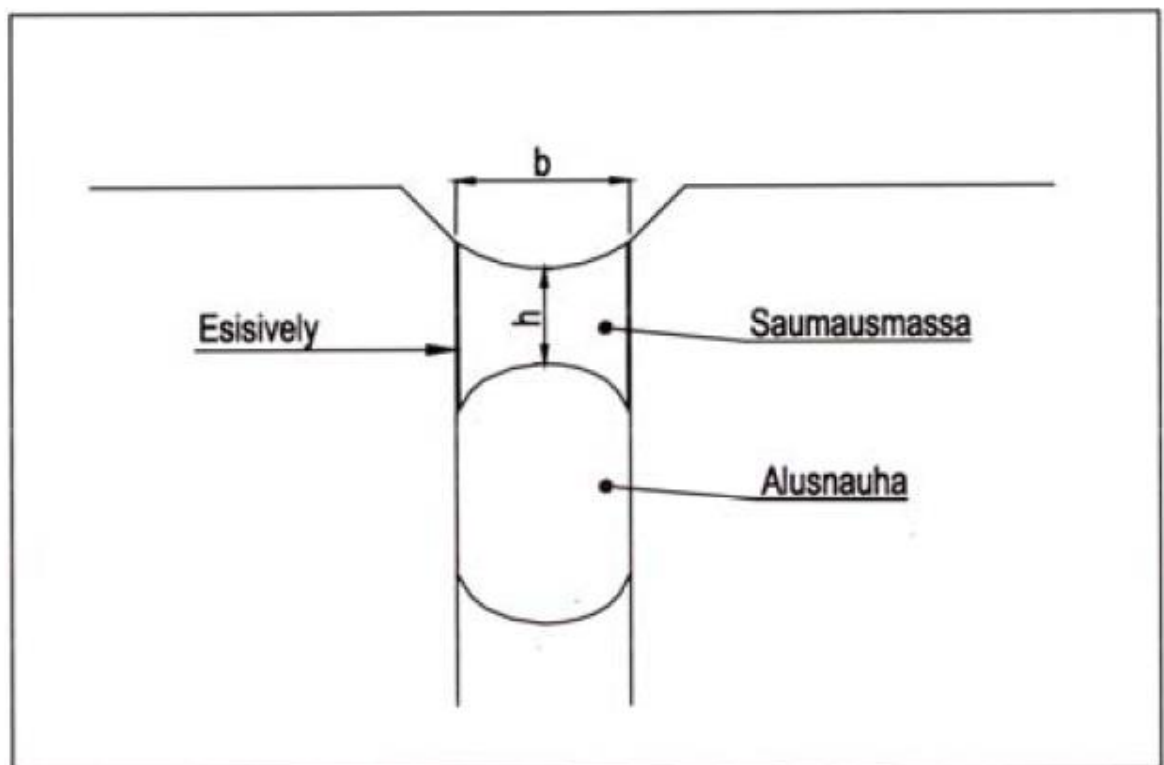
Reunapalkin liikuntasäuman leveys on esitetty suunnitelmissa. (SILKO 2.731 2001, 2.) ohjeen mukaan elastista massasaumaa voidaan käyttää pienissä silloissa myös ilman tarkempaa selvitystä seuraavien (Taulukko 9.) ja tekstin mukaan:

Taulukko 9. Elastisen massasauman sallitut liikuntapituudet

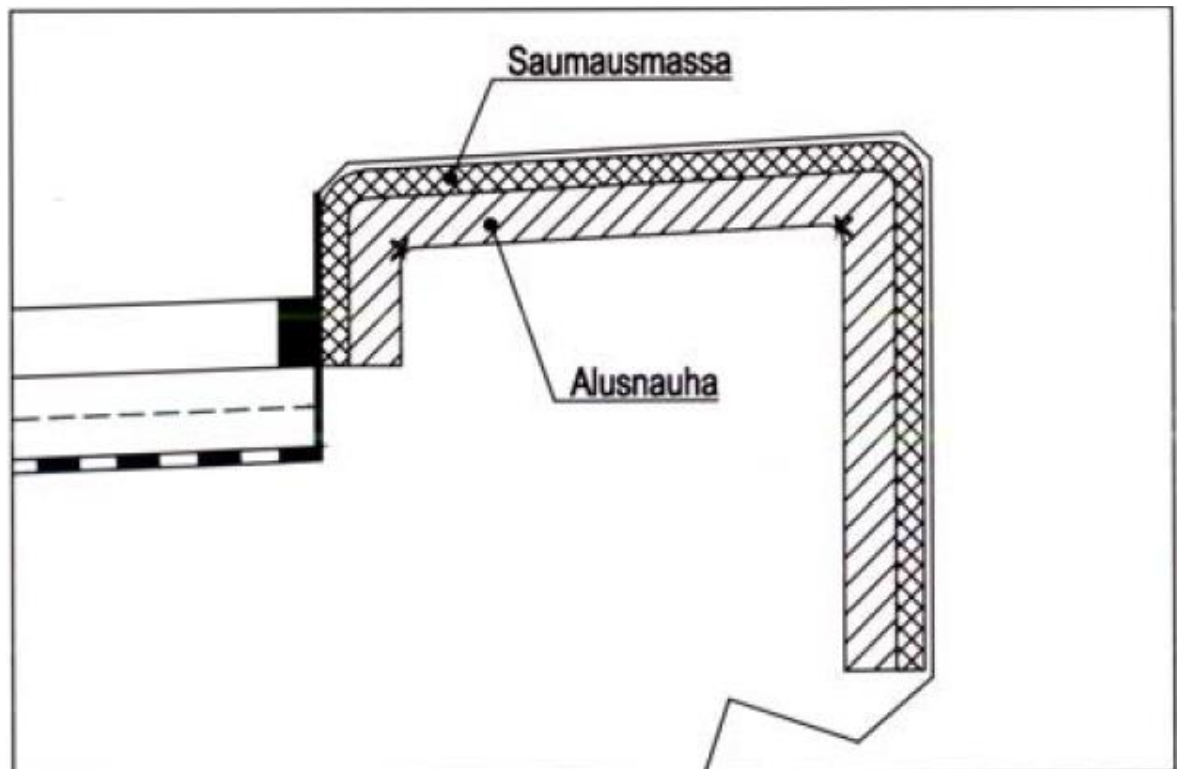
Säuman leveys	liikuntapituus
50 mm	$\leq 30$ m
30 mm	$\leq 18$ m
10 mm	$\leq 6$ m

Liikuntapituuden ollessa välillä 30-60 m voidaan käyttää liikuntasaumaprofiileja, mutta sallittu liikemäärä on tarkistettava tuotekohtaisesti. Reunapalkin elastisen liikuntasaumamassan tulee olla (SILKO 3.731 2019, 1). hyväksytty yksikomponenttinen polyuretaani- tai silikonipohjainen massa.

Saumaus on tehtävä +5... +15 °C lämpötilassa, jotta tulevat lämpöliikkeet pääsevät tapahtumaan molempiin suuntiin mahdollisimman tasaisesti. Tartuntapintoihin (Kuva 60.) sivellään massanvalmistajan ohjeistuksen mukainen tartunta-aine. Tartunta-aineen kuivuttua polyeteenisolumuovinauha painetaan saumaan käsin tai puukapulaa apuna käyttäen varoen vaurioittamasta nauhaa. Nauhan päälle pursotetaan saumausmassa patruunapuristimella tasaisena kerroksena ja muotoillaan sauma miedolla pesuaineliemellä kostutetulla puutikulla tai sormilla Kuvien 61. ja 62. mukaisesti. Käsiteltäessä massaa on käytettävä suojakäsineitä. (SILKO 2.731 2001, 2.)



Kuva 60. Reunapalkin massasauman oikea muoto. (SILKO 2.731 2001, 3.)



Kuva 61. Reunapalkin massasauman poikkileikkaus. (SILKO 2.731 2001, 3.)





Kuva 62. Reunapalkin elastisella massalla tehty 30 mm liikuntasäuma.

#### 6.10.2 Kannen liikuntasäuma

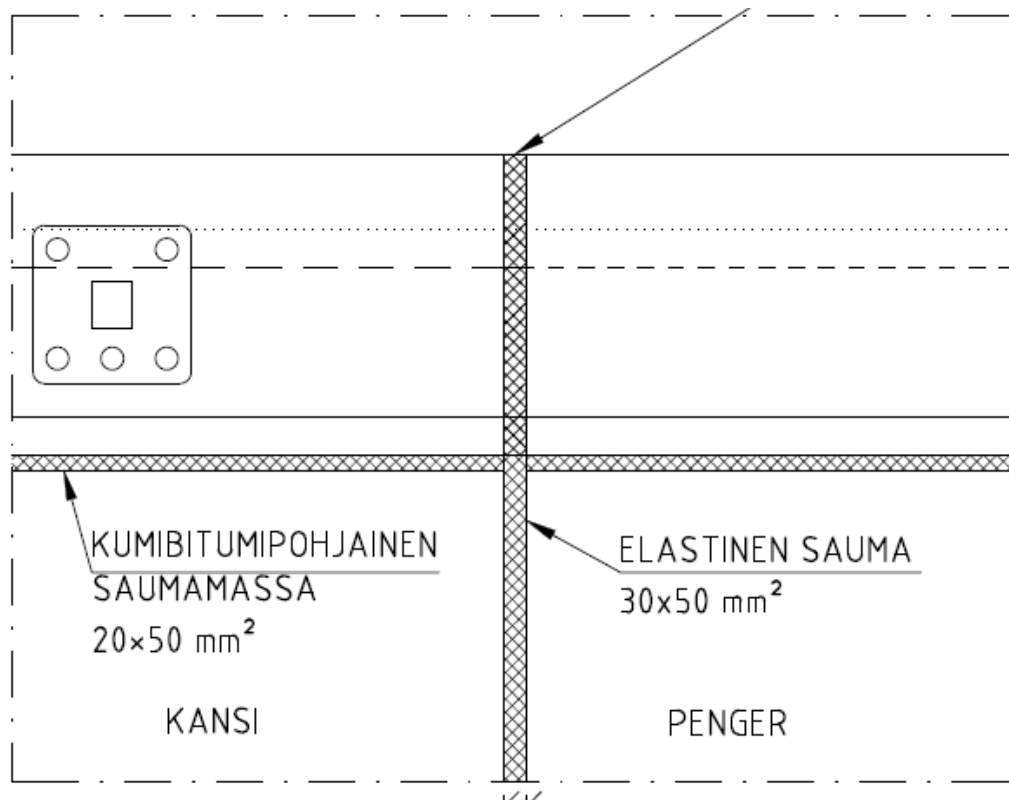
Kannen liikuntasäuma tehdään suunnitelmien mukaisesti. Säuma tulee sillan kannen ja maatuen säuman kohdalle. Lyhyillä silloilla käytetään liikuntasäumana

(SILKO 3.731 2019) mukaisella N1-tyyppin kuumana levitettävällä polymeerimodifioidulla bitumilla tehtyä yleensä 30 mm<sup>2</sup> x 50 mm<sup>2</sup> saumaa. Pidemmillä ja isompaa liikevaraa tarvitsevilla silloilla käytetään massaliikuntasauvoja (Kuva 65.) tai varsinaisia liikuntasaumalaitteita. Suunnittelija päättää käytettävän liikuntasaumatyypin. Esimerkki kohteessa (Kuva 63.) saumat ovat pelkällä elastisella massalla tehtyjä 30 mm<sup>2</sup> x 50 mm<sup>2</sup> saumoja. (Kuva 64.) Saumat tehdään kuten kappaleessa 6.10 Kannen saumat. Ainut ero on siinä, että asfaltti tehdään aluksi suoraan yli saumasta ja sauma sahataan jälkeinpäin. Saumaa sahatessa pitää varoa rikkomasta vesieritystä. Sauma tehdään ainoastaan kulutusasfalttikerrokseen, jolloin sahaus ulote- taan vain noin 50 mm:n syvyyteen.

Muita kannen liikuntasaumatyyppejä ei opinnäytetyössä käsitellä, koska vaihtoehtoja on lukuisia. Valinta menee sen mukaan, mitä suunnittelija on päättänyt. Liikuntasaumatyypin valintaan vaikuttaa sillan pituus ja sillan tyyppi.



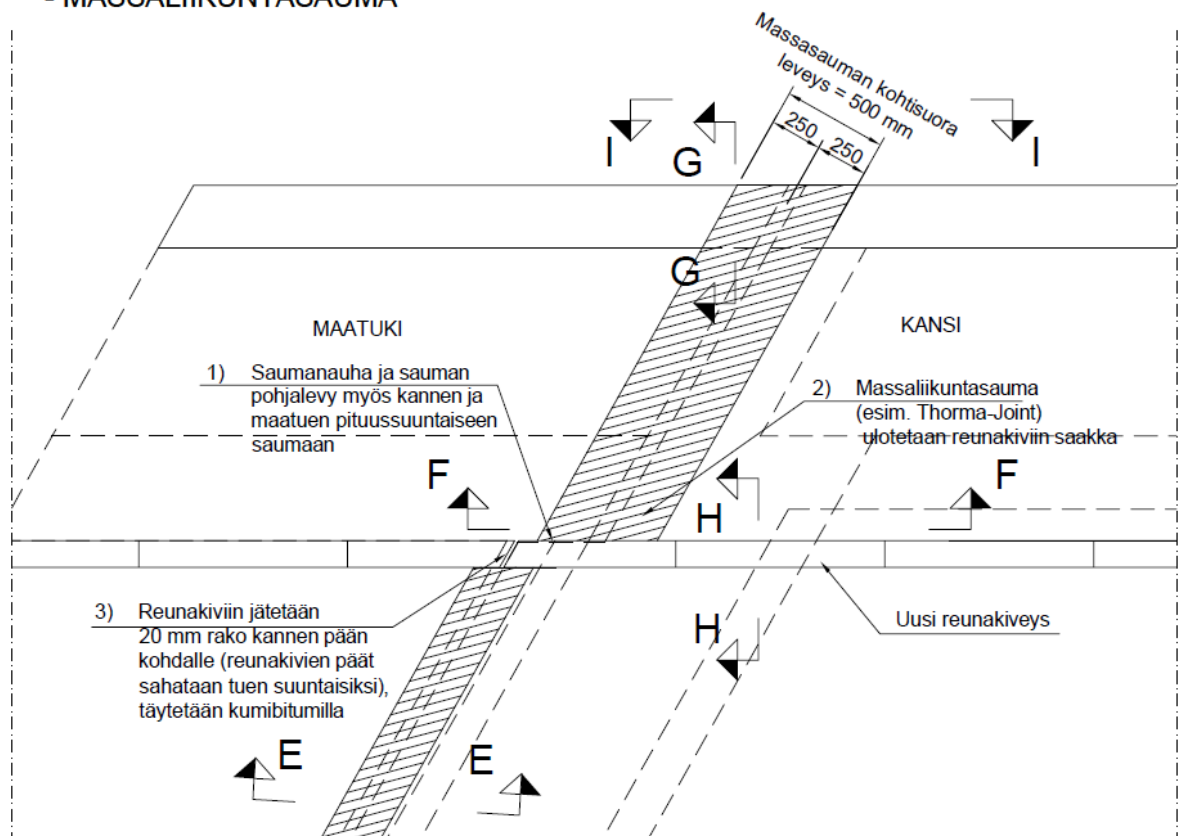
Kuva 63. Kannen liikuntasauga.



Kuva 64. Kannen saumat eräällä sillalla.

### DET 1 1:20

#### - MASSALIIKUNTASAUMA



Kuva 65. Kannen massaliikuntasauma eräällä sillalla.

### **6.11 Viimeistelyt ja kaistanvaihto tai työmaan purku**

Liikenteen siirto uudelle asfaltille kannattaa tehdä vasta aikaisintaan seuraavana päivänä asfaltoinnista, jolloin massa on ehtynyt jäähtyä kunnolla, etenkin aurinkoisella ja lämpimällä säällä. Optimitilanne olisi, että uusi päällyste saisi jäähtyä rauhassa viikonlopun yli ennen avausta liikenteelle. Sillan ensimmäisen kaistan valmistuttua suoritetaan liikennemerkkien ja opasteiden muutokset ja ohjataan liikenne kulkemaan korjatulle kaistalle. Kaistanvaihdon jälkeen jatketaan toisen kaistan korjauksella samalla tavalla, kuin ensimmäisen kaistan kanssa meneteltiin. Toisen kaistan valmistuttua voidaan purkaa työmaa ja liikennejärjestelyt ja tehdä ajorata-merkinnät.



## 7 YHTEENVETO

Sillan pintarakenneremontteja tullaan tulevina vuosina tekemään enenevässä määrin ja osajia ko. projekteille tarvitaan. Muotoiluvalun kuivumisajat ja jälkimmäisen kaistan päällystystyö ovat aikataulun kannalta kriittisimpiä työvaiheita. Korjaustyössä joudutaan aina samalla tutkimaan rakenteiden kuntoa ja arvioimaan korjaustyön laajuutta ja riittävyttä. Korjauskohteen suunnitelmat perustuvat aina tietyistä kohdin siltaa tehtyihin kuntotutkimuksiin ja vasta purettaessa selviää koko totuus. Joskus joudutaan korjaustoimia tekemään enemmän kuin suunnitelmissa on esitetty ja toisinaan saatetaan selvittää jopa hieman vähemmällä. Työnjohtajan tulee ymmärtää ko. projektilla rakenteiden vaurioiden syntymekanismeja ja vaikutuksia ja pystyä nopeasti reagoimaan mahdollisiin muutoksiin.

Tällaisella projektilla on todella paljon pieniä työvaiheita, jotka kuitenkin aiheuttavat kokonaisuudessaan yllättävän paljon työtä. Työmaalla on syytä olla 1 tai useampi oma työntekijä, joiden tulee osata hyvin monipuolisesti eri töitä. Pienellä sillalla voi riittää yksi sitoutunut oma työntekijä, mutta vähänkään suuremmalla on syytä olla kaksi tai kolmekin omaa työntekijää. Tällöin kaikkien pikkutöiden ajoittaminen on huomattavasti helpompaa. Kaikki isommat erilliset työvaiheet teetetään yleensä alihankkijoilla, mutta sen seurauksena moni valmisteleva työvaihe tai työ jää itselle tehtäväksi. Käsin tehtävää piikkausta, hiontaa, paikkausta, siivousta ja muuta vastaavaa on paljon.

Toivottavasti Suomen Hallituksella on jatkossa ymmärrystä, halua ja taitoa varmistaa riittävä rahoitus merkittävän kansallisomaisuuden, eli siltojen ja koko liikenneverkon kunnossa pitämiseksi ja mahdollisesti jopa tason kohottamiseksi. Kustannukset kasvavat entisestään, mitä heikompaan kuntoon rakenteiden annetaan mennä. Ilmastomuutoksen vaikutukset ja ennen kaikkea talvien muuttuminen vetisemmiksi ja lämpimämmiksi tulevat olemaan tulevaisuudessa suuri lisärasitus tie- ja rataverkolle ja niiden silloille.



## LÄHTEET

Betoninormit 2016. BY 65. 2.painos. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

HILTI HIT-RE 500 V3 INJECTION MORTAR. 2019. Technical Datasheet. 2019. [Verkkojulkaisu]. Hilti Oy. [Viitattu 6.4.2020]. Saatavana: [https://www.hilti.fi/media/sys\\_master/documents/h68/h4b/9485972635678/Technical-data-sheet-for-HIT-RE-500-V3-injectable-mortar-in-concrete-Technical-information-AS-SET-DOC-8257123.pdf](https://www.hilti.fi/media/sys_master/documents/h68/h4b/9485972635678/Technical-data-sheet-for-HIT-RE-500-V3-injectable-mortar-in-concrete-Technical-information-AS-SET-DOC-8257123.pdf)

Infra RYL 2006. 2008. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset- Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat. Helsinki: Rakennustieto Oy.

L 17.6.2011/646. Jätelaki.

Liikenneinfran rahoitus. 2019. Suomi vs. Ruotsi vertailu 2018-2029. [Verkkojulkaisu]. Taloustutkimus Oy. [Viitattu 17.3.2020.] Saatavana: [https://www.taloustutkimus.fi/media/pdf/infra\\_suomi-vs.-ruotsi\\_verkko\\_2019.pdf](https://www.taloustutkimus.fi/media/pdf/infra_suomi-vs.-ruotsi_verkko_2019.pdf)

Liikennemerkkien rakenne ja pystytys. 18.6.2013. Rakenteita ja laatua koskevat vaatimukset. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 17.3.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo\\_2013-20\\_liikennemerkkien\\_rakenne\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2013-20_liikennemerkkien_rakenne_web.pdf)

Liikenneverkko. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Väylä. [Viitattu 25.3.2020]. Saatavana: <https://vayla.fi/liikenneverkko>

Liikenneviraston sillat. 2018. Liikenneviraston sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 23.3.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti\\_2018-07\\_liikenneviraston\\_sillat\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti_2018-07_liikenneviraston_sillat_web.pdf)

Liikenneviraston sillat. 2017. Liikenneviraston sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 23.3.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti\\_2017-08\\_liikenneviraston\\_sillat\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti_2017-08_liikenneviraston_sillat_web.pdf)

Liikenneviraston sillat. 2016. Liikenneviraston sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 23.3.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti\\_2016-05\\_liikenneviraston\\_sillat\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti_2016-05_liikenneviraston_sillat_web.pdf)

Liikenneviraston sillat. 2015. Liikenneviraston sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 23.3.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti\\_2015-10\\_liikenneviraston\\_sillat\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti_2015-10_liikenneviraston_sillat_web.pdf)

- Liikenneviraston sillat 1.1.2014. Liikenneviraston sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 23.3.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti\\_2015-09\\_liikenneviraston\\_sillat\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti_2015-09_liikenneviraston_sillat_web.pdf)
- LIVI/305/06.02.00/2017. 2017. Ohje tiehankkeisiin liittyvistä tiedotustauluista. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 31.3.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/ohje\\_2017\\_tiehankkeisiin\\_liittyvista\\_tiedotustauluista\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/ohje_2017_tiehankkeisiin_liittyvista_tiedotustauluista_web.pdf)
- LIVI/7210/06.04.00/2016. 2016. Taitorakenteiden tehostetut betonin laadunvarmistustoimenpiteet. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 8.4.2020.] Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/paatos\\_2016\\_taitorakenteiden\\_tehostetut\\_betonin\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/paatos_2016_taitorakenteiden_tehostetut_betonin_web.pdf)
- Millaisella väyläverkolla liikut ja kuljetat vuonna 2020. 2019. Budjetti ja toimenpiteet. 25.10.2019. [Verkkajulkaisu]. [ppt esitys]. Helsinki: Väylävirasto. [Viitattu 27.3.2020]. Saatavana: [https://vayla.fi/documents/20473/513175/2019\\_Budjettitilailaisuus.pdf/4acc886a-2ff6-46d3-8ccd-3c24a82234b5](https://vayla.fi/documents/20473/513175/2019_Budjettitilailaisuus.pdf/4acc886a-2ff6-46d3-8ccd-3c24a82234b5)
- Rataverkko. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Väylä. [Viitattu 17.3.2020]. Saatavana: <https://vayla.fi/rataverkko>
- Ratu 82-0381. Kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden purku. 2011. Purkutyö. Helsinki: Rakennustieto.
- Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma. 2019. OSALLISTAVA JA OSAAVA SUOMI – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Valtioneuvosto. [Viitattu 6.4.2020]. Saatavana: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN\\_2019\\_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN_2019_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- RIL-179. 2018. Sillat: Suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- ROTI. 2019. [Verkkajulkaisu]. RAKENNETUN OMAISUUDEN TILA 2019. [Viitattu 17.3.2020]. Saatavana: [https://www.ril.fi/media/2019/roti/roti\\_2019\\_raportti.pdf](https://www.ril.fi/media/2019/roti/roti_2019_raportti.pdf)
- SILKO 1.203. 2002. Betonirakenteet: Purkamis- ja esikäsittelymenetelmät. Yleiset laatuvaatimukset. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Tiehallinto. [Viitattu 23.3.2020]. Saatavana: <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio1/s1203.pdf>
- SILKO 2.211. 2008. Betonirakenteet: Reunapalkin uusiminen. Työkohtaiset laatuvaatimukset. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Tiehallinto. [Viitattu 8.4.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2211\\_08.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2211_08.pdf)

- SILKO 2.239. 2004. Betonirakenteet: Halkeaman imeytys. Työkohtaiset laatuvaatimukset. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Tiehallinto. [Viitattu 8.4.2020]. Saatavana: <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2239.pdf>
- SILKO 2.240. 2007. Betonirakenteet: Vedeneristyksen alustan kunnostus. Työkohtaiset laatuvaatimukset. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Tiehallinto. [Viitattu 23.3.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2240\\_2007.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2240_2007.pdf)
- SILKO 2.252. 2019. Betonirakenteet: Betonipinnan impregnointi. Työkohtaiset laatuvaatimukset. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Väylävirasto. [Viitattu 22.4.2020]. Saatavana: <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2252.pdf>
- SILKO 2.261. 2016. Betonirakenteet: Tartuntatankojen ankkurointi. Työkohtaiset laatuvaatimukset. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 8.4.2020]. Saatavana: <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2261.pdf>
- SILKO 2.613. 2006. Kuivatuslaitteet: Reunasalaojan teko. Työkohtaiset laatuvaatimukset. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Tiehallinto. [Viitattu 14.4.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2613\\_07.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2613_07.pdf)
- SILKO 2.731. 2001. Saumarakenteet: Reunapalkin liikuntasauman tiivistäminen. Työkohtaiset laatuvaatimukset. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Tiehallinto. [Viitattu 14.4.2020]. Saatavana: <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2731.pdf>
- SILKO 2.732. 2018. Saumarakenteet: Päälysteen ja betonirakenteen välisen sauman tiivistäminen. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 22.4.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2732\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2732_web.pdf)
- SILKO 2.811. 2018. Kannen pintarakenteet: Vedeneristyksen uusiminen kermieristyksenä. Työkohtaiset laatuvaatimukset. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 16.4.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2811\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2811_web.pdf)
- SILKO 2.813. 2018. Kannen pintarakenteet: Vedeneristyksen uusiminen nestemäisenä levitettävänä eristyksenä. Työkohtaiset laatuvaatimukset. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 11.4.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2813\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2813_web.pdf)
- SILKO 2.814. 2019. Kannen pintarakenteet: Asfalttipäälysteen uusiminen. Työkohtaiset laatuvaatimukset [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Väylävirasto. [Viitattu 23.3.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2814\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2814_web.pdf)

- SILKO 3.231. 2019. Paikkausaineet. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Väylävirasto. [Viitattu 13.4.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio3/s3231\\_taul\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio3/s3231_taul_web.pdf)
- SILKO 3.731. 2019. Saumaussmassat: Voimassa olevien SILKO-tuotteiden luettelo 17.6.2019. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Väylävirasto. [Viitattu 14.4.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio3/s3731\\_tuoteluettelo\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio3/s3731_tuoteluettelo_web.pdf)
- Sillantarkastusohje. 2004. Helsinki. Tiehallinto. [Viitattu 25.3.2020]. Saatavana: <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/sillantarkastusohje2004.pdf>
- Siltabetonien P-lukumenettely. 2016. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 8.4.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2016-22\\_siltabetonien\\_p-lukumenettely\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2016-22_siltabetonien_p-lukumenettely_web.pdf)
- Siltojen kaiteet. 2012. Liikenneviraston julkaisuja. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 13.4.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo\\_2012-25\\_siltojen\\_kaiteet\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2012-25_siltojen_kaiteet_web.pdf)
- SYL 6. 2001. Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Kannen pintarakenteet. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Tiehallinto. [Viitattu 23.3.2020]. Saatavana: <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/syl/syl62001.pdf>
- Taitorakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset. 2018. Sillat: Suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus. Liikenneviraston ohjeita. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Liikennevirasto. [Viitattu 23.3.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2018-28\\_taitorakenteiden\\_erikoistarkastusten\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-28_taitorakenteiden_erikoistarkastusten_web.pdf)
- Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeiköllä. 1994. Geotekniikan informaatiojulkaisuja. Tielaitoksen selvityksiä 39/1994. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Tielaitos. [Viitattu 14.4.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf2/tiepenkereen\\_siirtymarakenteet.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf2/tiepenkereen_siirtymarakenteet.pdf)
- Tieverkko. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Väylä. [Viitattu 17.3.2020]. Saatavana: <https://vayla.fi/tieverkko>
- Vesipiikkaus. Ei päiväystä. [Verkkosivusto]. Suomen Vesipiikkaus Oy. [Viitattu 23.3.2020]. Saatavana: <https://vesipiikkaus.fi/menetelmat/vesipiikkaus>
- Vesiväylät. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Väylä. [Viitattu 17.3.2020] Saatavana: <https://vayla.fi/vesivaylat>
- VTT. 2006. Tutkimusselostus nro VTT-S-02259-06: Muotoiluvalun ongelmat ja laatuvaatimukset. [Viitattu 10.4.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/muotoiluvaluselosetus\\_2006.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/muotoiluvaluselosetus_2006.pdf)

Väylä tarkistaa puukantisten siltojen kunnon lahottajasienien aiheuttamien vaurioiden selvittämiseksi. 2019. [Verkkosivusto]. Helsinki: Väylävirasto. [Viitattu 27.3.2020]. Saatavana: <https://vayla.fi/-/vayla-tarkistaa-puukantisten-siltojensa-kunnon-lahottajasienien-aiheuttamien-vaurioiden-selvittamiseksi>

Väyläviraston sillat. 2019. Sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. [Verkojulkaisu]. Helsinki: Väylävirasto. [Viitattu 17.3.2020]. Saatavana: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vti\\_2019-01\\_vaylaviraston\\_sillat\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vti_2019-01_vaylaviraston_sillat_web.pdf)



**LIITTEET**